

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

MUSO DE INHIBIDORES EN LA DESINCRUSTACION

ACHIDA DE LOS ÓXIDOS EN LOS PROCESOS

DE HIERRO Y ACERO"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO  
PRESENTA  
FRANCISCO OLIVERIDES Y VILLALOBOS

---

M É X I C O - 1971



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**USO DE INHIBIDORES EN LA DESINCORUSTACION  
ACIDA DE OXIDOS EN LOS PROCESOS DE  
MANUFACTURA DE HIERRO Y ACERO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA**

**1971**

JURADO ASIGNADO ORIGINAL MENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE: Enrique Villarreal Domínguez

VOCAL: Manuel F. Guerrero Fernández

SECRETARIO: José Luis Padilla de Alba

1ER. SUPLENTE: Enrique Jiménez Ruíz

2DO. SUPLENTE: Roberto Ramírez Castillo

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Biblioteca de la Facultad de Química

SUSTENTANTE: Francisco Ollervides y Villalobos

ASESOR DEL TEMA: José Luis Padilla de Alba

A MI PADRE:

Que me formó dándome consejo, orientación y guía, inculcando en mí principios e ideales con el ejemplo de la integridad de su persona.

A MI MADRE:

Que siempre me dió su amor y ternura, y en quien encontré apoyo, consuelo en mis errores y felicidad y alegría en mis aciertos.

A MIS HERMANOS:

Rafael, Carmen, Cuauhtémoc y Genoveva, deseando que el vínculo de la hermandad y de compañerismo se estreche más entre nosotros día con día.

A MI ESPOSA:

Que con amor y cariño me ha brindado toda la felicidad que un hombre puede llegar a desear.

A MIS HIJOS:

Francisco José y Alejandro Fabián, con el deseo de que logren en la vida sus más caros anhelos.

Al Ingeniero Químico, José Luis Padilla de  
Alba, profesionista intachable, maestro ejem-  
plar y compañero insustituible.

A todos mis maestros que me participaron  
de sus conocimientos y me orientaron en el  
maravilloso mundo del saber.

A mis familiares, en quienes siempre he encontrado aliento y afecto.

A mis amigos, por compartir conmigo tantos días de alegrías y de tristezas.

A todas aquellas personas que me ayudaron en la elaboración de esta tesis.



## INDICE

	<u>Página</u>
Introducción	1
CAPITULO I	3
<u>Análisis del Problema</u>	4
Desincrustación por medio de ácidos,	4
Proceso de Formación de la Incrustación,	6
Acción del ácido sulfúrico,	8
Acción del ácido muriático,	9
Herrumbre,	10
Depósitos de Calcio,	11
CAPITULO II	12
<u>Procesos de Desincrustación Inhibida</u>	13
Preparación y Limpieza del metal antes de la desin- crustación,	13
Desincrustación Ácida (Operación del baño desincrus- tante),	14
Ácidos,	20
Temperatura	23
Sulfato,	25
Tiempo,	25
Agitación,	27

	<u>Página</u>
Tratamiento del metal desincrustado.	29
Para evitar que se oxide.	30
Para prepararlo para su pintado.	30
Para limpiarlo convenientemente para su galvanizado, en caliente.	31
Para mantenerlo en condiciones limpias antes de estañarlo o cromarlo.	31
Para recubrirlo antes de troquelarlo.	32
Análisis de Baños desincrustantes.	33
 CAPITULO III	 44
<u>Inhibidores</u>	45
¿Qué es un inhibidor y cuál es su valor real?	45
La desincrustación del acero y el comportamiento de los inhibidores como una reacción electroquímica.	46
Serie Galvánica.	50
Potencial de equilibrio existente entre un metal y sus iones en solución.	56
Potencial estándar de Oxido-Reducción.	57
Factores importantes para que una celda galvánica opere al 100% de eficiencia.	59
Inhibición.	59
Efecto de la inhibición.	61
Causa de la inhibición.	61
¿Qué tan rápido sucede una corrosión?	62
Polarización.	65

	<u>Página</u>
Inhibidores Orgánicos e Inorgánicos.	71
Ventajas en el uso de inhibidores.	76
Resultados al ahorrar metal.	76
Resultados al ahorrar ácido.	77
Ventajas al reducir la formación de hidrógeno.	77
CAPITULO IV	78
<u>Tablas</u>	79
CAPITULO V	83
<u>Conclusiones</u>	84
CAPITULO VI	85
<u>Bibliografía</u>	86

INTRODUCCION

En los procesos de manufactura del hierro y acero, estos materiales son trabajados a elevadas temperaturas, al enfriarse en la superficie se les forman capas de óxido que generalmente reciben el nombre de "incrustaciones".

Para remover estas incrustaciones, se emplean ácidos en soluciones diluidas, a esta operación se le conoce como: "proceso de desincrustación".

Aunque la desincrustación es una operación esencialmente de la industria del acero, su desarrollo fue más bien empírico que científico, pues el no tomar en cuenta la química de los procesos originó el empleo de métodos inadecuados e inexactos.

Con el desarrollo científico y el estudio metódico de la desincrustación, hicieron su aparición sustancias selectivas, llamadas inhibidores que originaron una nueva era en los procesos de desincrustación.

"CAPITULO II"

## ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### DESINCERUSTACION POR MEDIO DE ACIDOS. -

Desincrustación es por definición la limpieza de superficies metálicas al sumergirlas en soluciones diluidas de ácidos.

En la industria del hierro, el término desincrustación se refiere al hecho en el que se sumergen metales en soluciones ácidas, con el objeto de remover óxidos e incrustaciones formadas. A este mismo proceso se le designa con otros nombres y se usa para remover otras capas del metal aparte de incrustaciones, tales como herrumbres, recubrimientos de un metal con otro e incrustaciones de sales de calcio en: calderas, cambiadores de calor, radiadores de automóviles, etc. Mientras que los óxidos de metales y los recubrimientos delgados de un metal con otro son removidos tanto de metales no ferrosos como de metales ferrosos, en el tratamiento de desincrustación de éstos últimos es donde los inhibidores selectivos han tenido un efecto más marcado.

En el pasado y aún actualmente, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) debido a su bajo costo, su alto punto de ebullición y su disponibilidad, ha sido el más empleado en casi la totalidad de las desincrustaciones de acero simple y acero de bajo contenido de carbón, (que representan el grueso del tonelaje del material desincrustado). Pero debido a ciertas medidas tales como las regulaciones sobre la contaminación, así como a la mayor velocidad de reacción con óxidos e

5

incrustaciones y su facilidad de regeneración, el ácido clorhídrico (HCL) ha empezado a tener una gran importancia en los procesos metalúrgicos. Para remover la incrustación y lograr superficies brillantes en aceros inoxidable y otras aleaciones, se emplea con más frecuencia, el ácido muriático solo o en combinación con ácido sulfúrico, aunque también se emplean ácidos como el sulfámico, el acético, el cítrico, el oxálico, el tartárico y el fórmico, así como el bifluoruro de amonio y el bisulfato de sodio) y en ocasiones con fluorhídrico.

El proceso de desincrustación se lleva a cabo generalmente al sumergir grandes cantidades de material en los baños desincrustantes empleando para esto tanques apropiados, aunque se puede lograr el mismo efecto si el baño desincrustante es atomizado, vaciado o escurrido sobre el material por trabajar, o si este material fuese pisado a través de baños de ácido como en el proceso continuo de desincrustación de acero.

La desincrustación no está limitada solo al campo de la metalurgia, pues de hecho es una herramienta sumamente valiosa en muchas industrias tales como en la petrolera, donde se usa en la limpieza de incrustaciones y productos de corrosión en oleoductos, en ingenios azucareros, se emplea en la limpieza de calderas, molinos y equipo de refinamiento que deben ser limpiados periódicamente para que puedan trabajar eficientemente.

El proceso de desincrustación se puede subdividir en dos grandes categorías que son: uso en la metalurgia y acéris y uso en la limpieza química.



Los ácidos que se emplean en la desincrustación no sólo remueven la incrustación de la base metálica, sino que una cantidad considerable es desperdiciada al disolver esta misma base metálica. Para prevenir esto, se utilizan sustancias inhibidoras. No se puede dar una explicación sobre el proceso de desincrustación, ya sea en sistemas intermitentes o en sistemas continuos a alta velocidad, si no se entiende bien el proceso de formación de la incrustación.

#### Proceso de Formación de la Incrustación.

El hierro y sus aleaciones son calentados antes de ser: vaciados, forjados o rodados en caliente. En el proceso de vaciado, el metal es calentado a una temperatura superior a la de su punto de fusión y luego vertido en moldes.

Para los procesos de forjado y rodado, el metal se calienta a una temperatura abajo de su punto de fusión, generalmente en hornos abiertos donde el oxígeno de la atmósfera del horno se combina con el metal caliente para formar óxidos de hierro y los elementos de la aleación. Al enfriarse estos óxidos, forman un revestimiento de capas duras generalmente negras, que se adhieren al metal, esta capa recibe el nombre de incrustación, óxido magnético, incrustación de molienda, incrustación de rodado, incrustación de forja, etc.

La formación de estas capas ocurre frecuentemente en acerías, en vaciados, en hoja terminada, en barra, en alambre, en solera, en varilla, en tubo, etc., y el uso de operaciones de desincrustación, es frecuente.

La incrustación debe ser removida y el metal deberá quedar totalmente limpio cuando se le prepara para ser galvanizado, cromado, etc.

La incrustación es generalmente frágil y quebradiza, se expande menos que el hierro que la forma y se agrieta al enfriarse. No es uniforme en composición debido a la variación de la cantidad de oxígeno existente en las capas de incrustación como se puede apreciar en la Figura # 1.

La incrustación está compuesta de varias capas diferentes:

A. Capa exterior. - Generalmente la más rica en oxígeno de composición aproximada  $Fe_2O_3$  con cerca de 30% de  $O_2$  en peso.

B. Capa media superior. - Con una composición aproximada de  $Fe_3O_4$  y con cerca de 28% de  $O_2$  en peso.

C. Capa media inferior. - Con una composición aproximada de  $FeO$  y con cerca de 22% de  $O_2$  en peso.

D. Capa inferior. - Con una composición de óxido y metal conteniendo la menor cantidad de oxígeno que las otras capas.

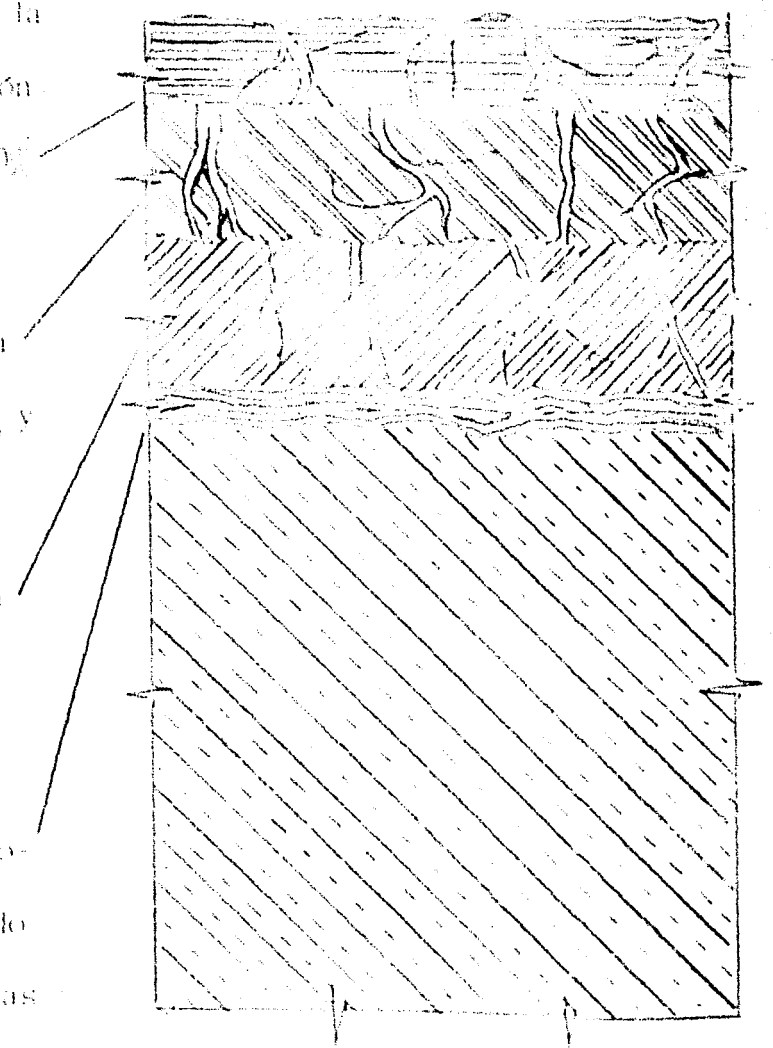


Figura # 1

¿Cuál es la acción de los ácidos sobre estas capas?

Acción del Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Las capas exteriores, conteniendo la mayor cantidad de oxígeno son prácticamente insolubles en soluciones diluidas de ácido sulfúrico, que son las más empleadas en los procesos de desincrustación, pero afortunadamente el gran número de fisuras y grietas existentes en las capas de la incrustación, permiten que el ácido penetre a las capas inferiores que son las que contienen menor cantidad de oxígeno (aunque también llegan al metal). Debido a que estas capas son más solubles en el ácido, se disuelven rápidamente ocasionando que gran parte de la incrustación caiga en forma de costras u hojuelas. Como el metal mismo es atacado por el ácido, se producen burbujas de hidrógeno que al subir por la solución ejercen una acción que remueve y que empuja estas hojuelas o costras de incrustación alejándolas de la superficie del metal.

El hierro y el acero son caros. Surge la pregunta sobre que será posible hacer para ahorrar estos materiales cuando se forma una atmósfera tan corrosiva al remover la incrustación y obtener un material apropiado para el trabajo.

Afortunadamente, y a fin de resolver este problema, existen substancias que han probado ser muy valiosas en la manufactura de aceros de alta calidad. Estas substancias se añaden al ácido diluido a fin de retardar la acción de éste sobre la base metálica y son conocidas industrialmente como retardadores o inhibidores.

Aunque la palabra inhibición no se debe tomar como la de una acción retar-

dadora para remover la incrustación, ya que esto no sucede cuando el inhibidor se usa apropiadamente. Sin embargo, sí tienen una acción retardadora ya que llega a frenar considerablemente la acción del ácido sobre la base metálica.

Si toda la incrustación fuera aflojada a un tiempo y el metal fuese inmediatamente sacado de la solución desincrustante, habría poco ataque del ácido al metal y no habría necesidad del uso de un inhibidor. Pero esto no ocurre, ya que la incrustación es removida de unas partes de la superficie más rápidamente que de otras, al usar ácido no inhibido, éste ataca inmediatamente picando las áreas expuestas del metal antes que el total de incrustación pueda ser removido del resto de la superficie.

#### Acción del Acido Muriático (HCl). -

Cuando se usa ácido muriático, su acción es similar a la del ácido sulfúrico, excepto en que todas las incrustaciones son más solubles y algunas de ellas pueden ser disueltas o removidas del todo por el hidrógeno que se forma.

En todo el mundo el ácido clorhídrico gana adeptos día a día, ya que muchas plantas tienen o están acondicionando su equipo para usar este ácido, puesto que existen inhibidores selectivos para él.

Los ácidos también se utilizan para remover otros recubrimientos aparte de incrustaciones.

El herrumbre es el recubrimiento que con mayor frecuencia se encuentra y

el proceso para removerlo se le designa simplemente como "removimiento de herrumbre".

### Herrumbre. -

La herrumbre es un óxido de fierro hidratado,  $Fe(OH)_2$  es más soluble en ácidos: sulfúrico, muriático y fosfórico que las incrustaciones de fierro y acero y por lo tanto los recubrimientos de herrumbre son removidos más fácilmente por disolución que por la acción del hidrógeno como pasa en la desincrustación.

La herrumbre se remueve más en productos terminados que en aquéllos de las acerfas y el objeto de removerla es para evitar el ataque de la corrosión que puede llegar a consumir todo el metal y más específicamente para poder aplicar manos de pinturas o recubrimientos protectores.

La herrumbre a diferencia de la incrustación continúa progresando en forma cíclica y si no se remueve y los agentes que la causan no se destruyen, continuará formándose indefinidamente aún debajo de recubrimientos de pintura y aceite.

Para remover la herrumbre generalmente se emplean soluciones selectivas. Cuando se trabaja sobre grandes estructuras, tales como cascos de barcos, puentes, etc., que por su tamaño o por su gruesa incrustación son difíciles de limpiar con estas soluciones, la herrumbre se remueve por medio de chorros de arena o por pequeñas partículas dispiradas a presión.

### Depósitos de Calcio. -

En calderas, condensadores, cambiadores de calor, máquinas de lavado de botellas, botes, etc., se forman capas al depositarse calcio y magnesio que trae consigo el agua caliente que aquí se emplea. Estas capas están formadas principalmente de carbonatos y sulfatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y ( $\text{CaSO}_4$ ) siendo los primeros más solubles que los segundos.

La solución más empleada para disolver estas capas es la de ácido muriático (HCL) sin calentar.

El uso de ácidos para remover capas de óxidos y herrumbre del hierro y acero y de sales de calcio se ha mencionado. Asimismo, las soluciones ácidas proveen de un medio rápido y económico para remover recubrimientos de un metal en otro, tal como cinc en acero (acero galvanizado), en donde se emplean ácidos sulfúrico o muriático.

Con esta breve introducción sobre los principales usos de ácidos para remover recubrimientos indeseables de metales ferrosos en particular, el proceso de desincrustación inhibida se investigará a continuación.

"C A P I T U L O II"

## PROCESOS DE DESINCrustACION INHIBIDA

El proceso de desincrustación puede dividirse en cuatro partes:

- Preparación y Limpieza del metal.
- Desincrustación Ácida.
- Tratamiento del metal desincrustado.
- Análisis de baños desincrustantes.

### PREPARACION Y LIMPIEZA DEL METAL ANTES DE LA DESINCrustACION

El propósito de limpieza del metal es el de quitar cualquier sustancia que pueda impedir que el ácido desincrustante entre en contacto con la superficie de incrustación. La sustancia que generalmente se encuentra es aceite, aunque a veces parte de la superficie puede estar cubierta de pintura o residuos de pintura que deberán ser removidos.

Los aceites pueden ser removidos con solventes que son volátiles y dejan una pequeña película que no es perjudicial generalmente. Estos solventes pueden ser aplicados por métodos convencionales y limpiados con trapos limpios, o el metal puede ser desengrasado por inmersión en solvente o en vapores de solvente, que al final dejan al metal libre de aceite, (aunque no del todo libre de partículas de tizne o suciedad que son mantenidas en la superficie por la película de aceite). La limpieza con solventes es relativamente cara.

Las películas de pintura pueden ser eliminadas en soluciones fuertemente



cáusticas y los aceites en soluciones de agentes alcalinos y emulsificantes. Los agentes alcalinos removedores de pintura y aceite se usan generalmente en soluciones hirvientes que contienen desde algunos centímetros cúbicos por litro de los detergentes removedores de aceites hasta muchos gramos por litro de sosa cáustica para remover la pintura.

La pieza que se va a limpiar deberá ser sumergida en la solución hirviente contenida en un tanque de acero hasta que se complete la limpieza y posteriormente se lavará con agua limpia lo suficientemente bien como para remover los alcalíes que si son llevados al baño de ácido desincrustante pueden neutralizarlo y desperdiciar parte de él.

La limpieza alcalina es relativamente barata y deberá usarse cuando la limpieza antes de la desincrustación sea requerida más o menos regularmente.

### DESINCRUSTACION ACIDA

Una vez que se ha considerado lo que se le debe hacer al acero a fin de que pueda ser desincrustado, consideremos ahora la desincrustación ácida.

#### Acidos. -

Para la desincrustación de metales ferrosos, se emplean los siguientes ácidos: sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), muriático (HCL), fosfórico ( $H_3PO_4$ ), nítrico ( $HNO_3$ ) y fluorhídrico (HF), siendo el ácido sulfúrico el que se usa de una manera casi exclusiva en la gran mayoría de las industrias donde se efectúan desincrustaciones.

Equipos - Para la desincrustación de metales ferrosos, se emplean los siguientes equipos: para el enjuague en frío o caliente tanques construídos de acero de placa suave o madera; para almacenaje de ácidos empleados en la desincrustación, no se pueden utilizar tanques de acero ordinario. Para contener el ácido sulfúrico, muriático, fluorhídrico y fosfórico, temporalmente se pueden emplear tanques de madera, pero para equipos permanentes se emplean tanques de acero especiales que resisten determinado tipo de ácido.

En la siguiente tabla se da una relación de materiales que resisten a los diferentes ácidos y con los cuales se deberán constituir los serpentines de calentamiento.

TABLA # 1

	<u>Plomo</u>	<u>Hule</u>	<u>Acero Inoxidable</u>	<u>Ladrillo</u>	<u>Madera Temporalmente</u>
Sulfúrico $H_2SO_4$	X	X	-	X	X
Muriático HCl. (Clorhídrico)	-	X	-	X	X
Fosfórico $H_3PO_4$	X	X	X	X	X
Fluorhídrico HF	X	X	-	-	X
Nítrico $HNO_3$	-	-	-	X	-

El tanque de desincrustación construído con el material apropiado, deberá ser equipado en la parte inferior con un sistema de drenaje para un vaciado rápido

y para poder ser limpiado fácilmente, serpentines de calentamiento o cualquier otra fuente de calor, agua para diluir el ácido y para lavar el tanque vacío y proveer equipo para la introducción del ácido en el baño.

El agua como ya es sabido nunca deberá ser añadida a ácidos fuertes. Aún cuando se añade ácido sulfúrico concentrado al agua, la reacción es exotérmica, generándose suficiente calor como para hacer hervir y aventar el ácido, para añadir el ácido al baño se pueden emplear tuberías de plomo o de acero que van del tanque de almacenamiento del ácido al baño desincrustante.

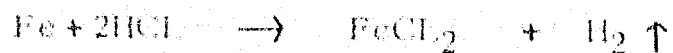
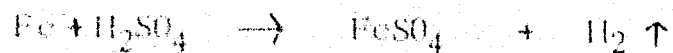
Es aconsejable incluir un tanque pequeño donde se pueda medir la cantidad de ácido que se añade a cada baño desincrustante el que puede estar construido de acero suave al que no lo ataque el ácido sulfúrico concentrado.

En los lugares donde se efectúan desincrustaciones, hay formación de vapor y fumarolas de ácido que escapan al aire, por lo que se debe proveer de una amplia ventilación, así como el uso de aire caliente y de ductos de escape localizados convenientemente, sobre o cerca de los tanques para limpiar la atmósfera del lugar.

El tipo de charolas (racks) en donde el trabajo es colocado para la inmersión a los baños, dependerá del tipo de trabajo y del volumen de la producción.

Equipo apropiado construido de bronce resistente al ácido o de otros metales se puede obtener de las casas especializadas.

En el proceso desincrustante, se genera hidrógeno, al efectuarse cualquiera de las siguientes reacciones.



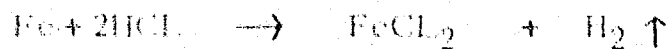
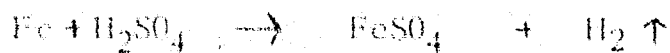
Por lo tanto si el material a tratar es por ejemplo: cubetas y éstas son acomodadas con la base hacia arriba, el gas se acumularía dentro, forzando al ácido hacia abajo e impidiendo la acción desincrustante en las áreas donde haya quedado atrapado el hidrógeno, por lo tanto el acomodado de estos materiales deberá ser hecho siempre con la base hacia abajo para que el gas pueda escapar, los materiales de diseño complicados deberán ser acomodados de tal manera que no se formen bolsas de gas.

A fin de reducir el tiempo de manufactura y de traslado se deberán proveer de polipastos y gruas apropiadas para poder pasar el material de un baño al otro.

Para lugares en donde la producción sea grande, se puede instalar equipo mecánico que pueda cambiar el material trabajado de tanque a tanque sumergiéndolo en ácidos y enjuagues. En los molinos de acerías de rollos de acero rolado en caliente, éste se adapta muy bien para hacer una limpieza continua.

Los rollos de acero rolado en caliente, se hacen pasar primero a través de un quebrador de incrustación después pasa a través de dos o más tubos que contienen ácido sulfúrico caliente, se saca por medio de una corriente de aire, se

En el proceso desincrustante, se genera hidrógeno, al efectuarse cualquiera de las siguientes reacciones:



Por lo tanto si el material a tratar es por ejemplo: cubetas y éstas son acomodadas con la base hacia arriba, el gas se acumulará dentro, forzando al ácido hacia abajo e impidiendo la acción desincrustante en las áreas donde haya quedado atrapado el hidrógeno, por lo tanto el acomodado de estos materiales deberá ser hecho siempre con la base hacia abajo para que el gas pueda escapar, los materiales de diseño complicados deberán ser acomodados de tal manera que no se formen bolsas de gas.

A fin de reducir el tiempo de manufactura y de traslado se deberán proveer de polipastos y grúas apropiadas para poder pasar el material de un baño al otro.

Para lugares en donde la producción sea grande, se puede instalar equipo mecánico que pueda cambiar el material trabajado de tanque a tanque sumergiéndolo en ácidos y enjuagues. En los molinos de acerías de rollos de acero rolado en caliente, éste se adapta muy bien para hacer una limpieza continua.

Los rollos de acero rolado en caliente, se hacen pasar primero a través de un quebrador de incrustación, después pasa a través de dos o más tubos que contienen ácido sulfúrico caliente, se saca por medio de una corriente de aire, se

Tanque 1

Tanque 2

Tanque 3

Tanque 4

Tanque 5

Impresión con solvente cargando con agua dulce - lavado con agua - lavado y preparado final

Figura # 2

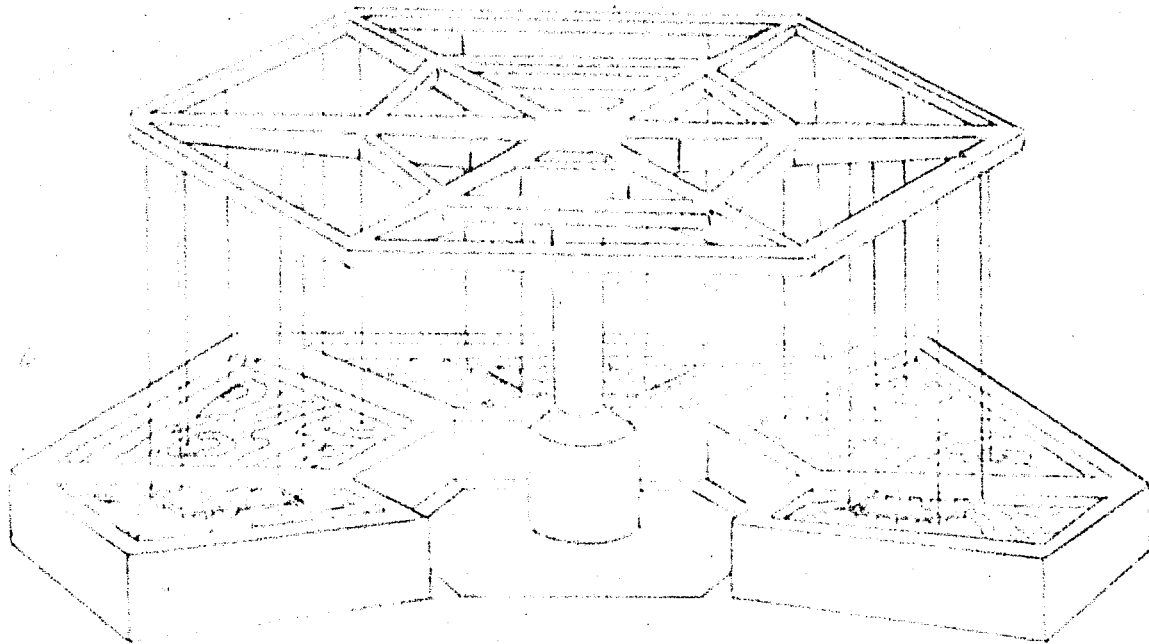


Figura # 3

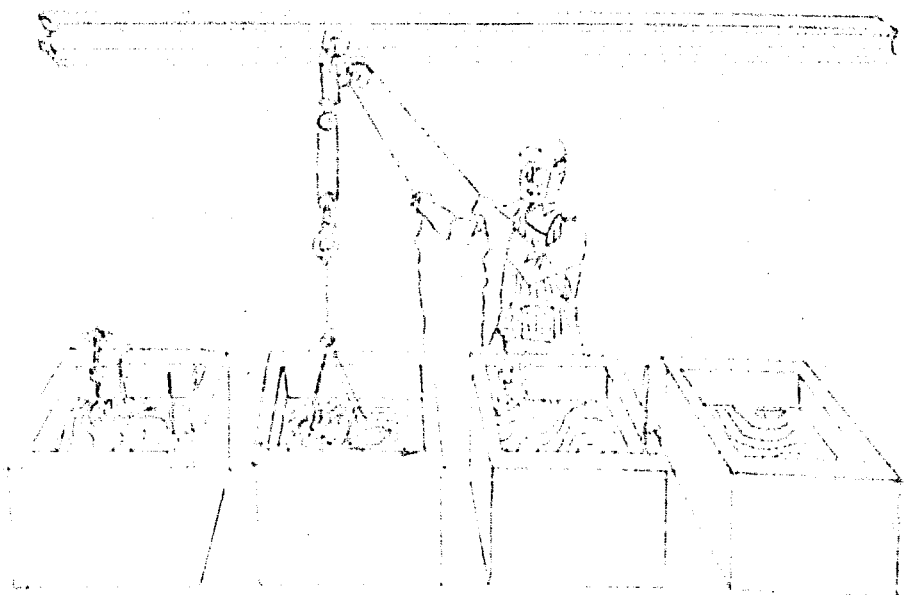


Figura # 4

aceita y se vuelve a enrollar. El poder romper la incrustación mecánicamente, el uso de rodillos de presión, de cepillos rotatorios y el uso de ácido caliente y concentrado hace posible la desincrustación y el rolado en caliente en un tiempo bastante corto. (Figura # 5).

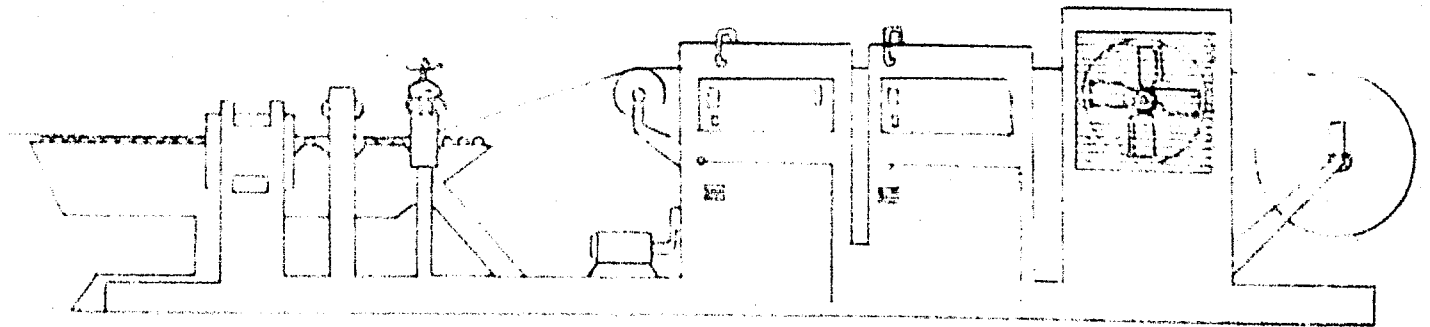


Figura # 5

También se puede disponer de equipo semi-contínuo en donde la tira de metal por tratarse se pasa por dos o más tanques largos que contienen ácido. (Figura # 6).

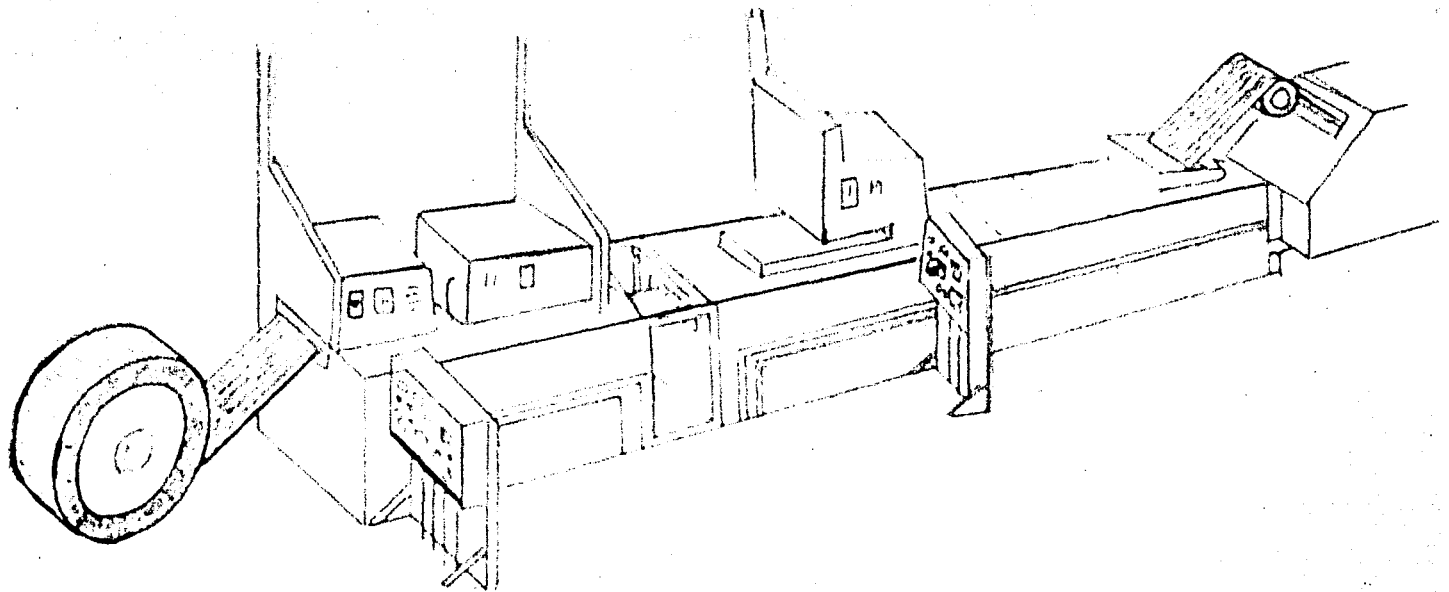


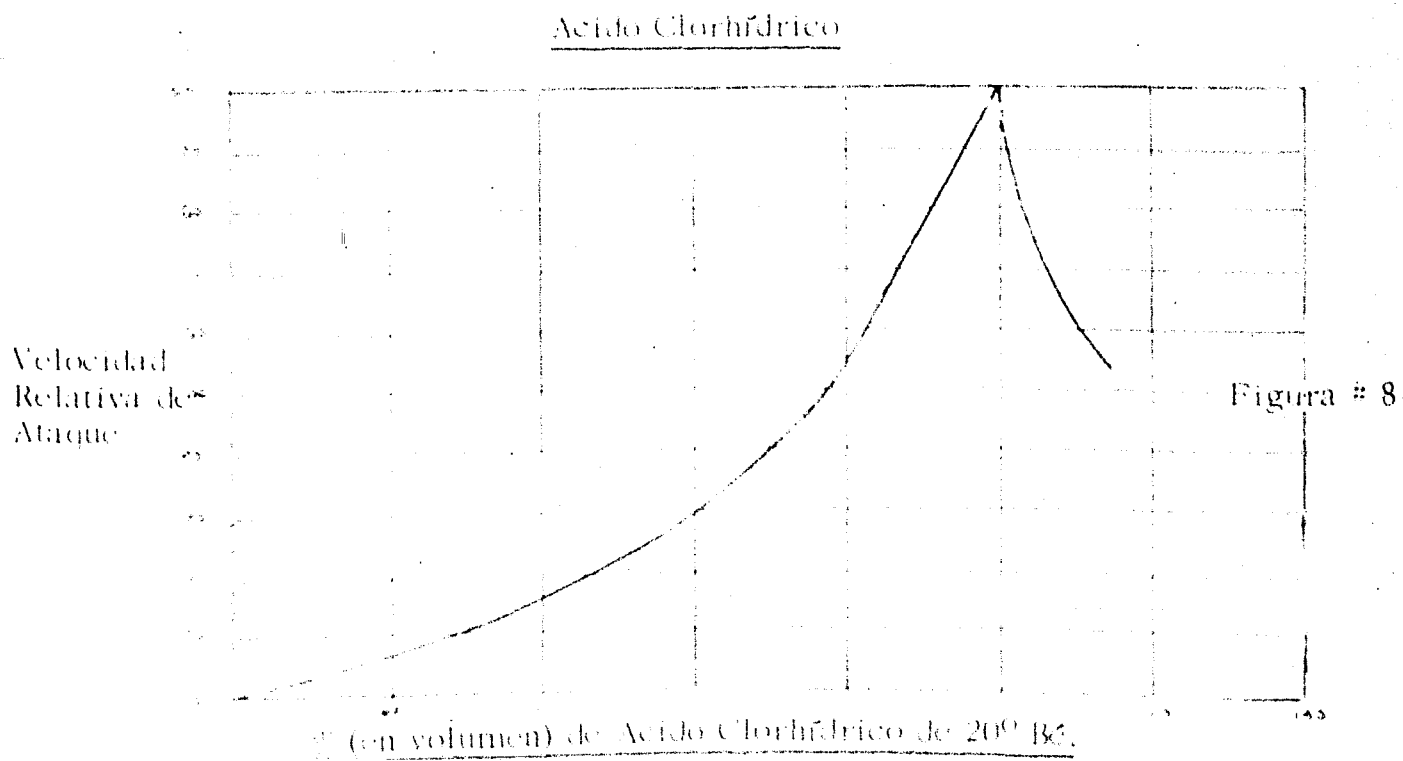
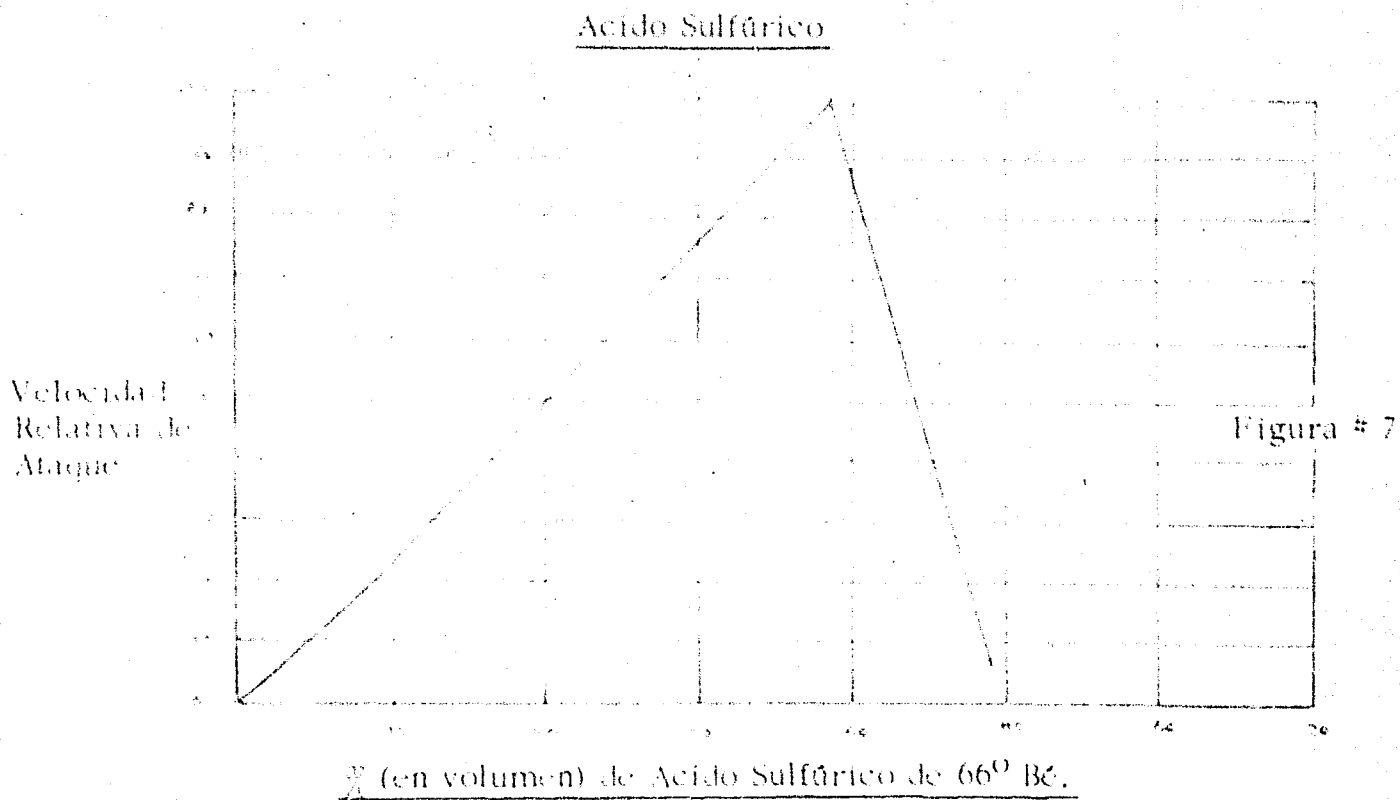
Figura # 6

Operación del Baño Desincrustante.

Acido. - El ácido sulfúrico concentrado no ataca el acero ni remueve la incrustación, deberá por lo tanto diluirse con agua antes de ser empleado.



Intensidad de ataque a varias concentraciones y a 50<sup>o</sup> C. de temperatura  
(sobre acero).



De lo anterior se ve que a una temperatura de 49° C. el ácido sulfúrico concentrado no ataca al acero y hasta que se diluye con un volumen aproximadamente igual de agua, se nota una acción apreciable.

La actividad del ácido aumenta en poder con un máximo de ataque cuando el ácido está a 40% de concentración al aumentar esta concentración, el ataque disminuye rápidamente.

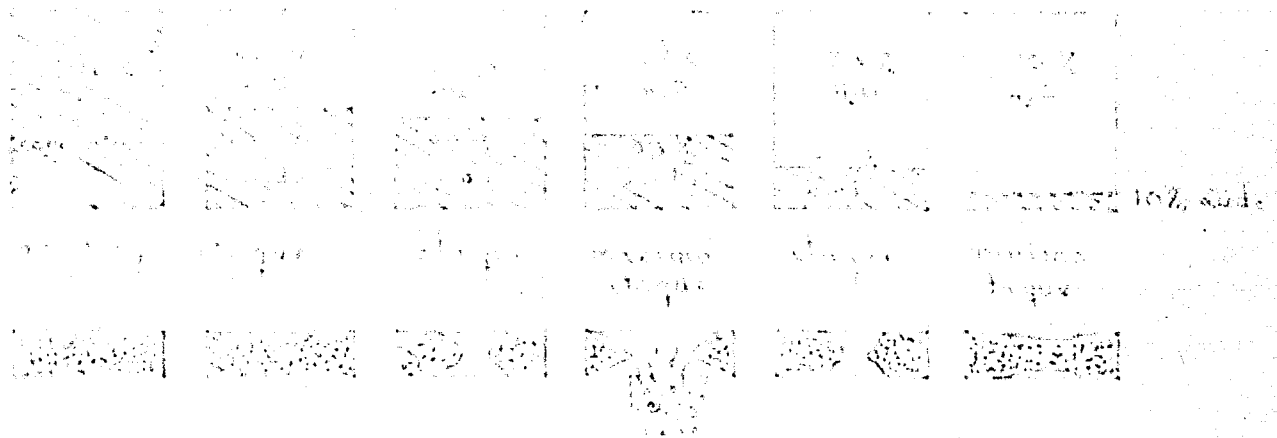


Figura # 8 (a)

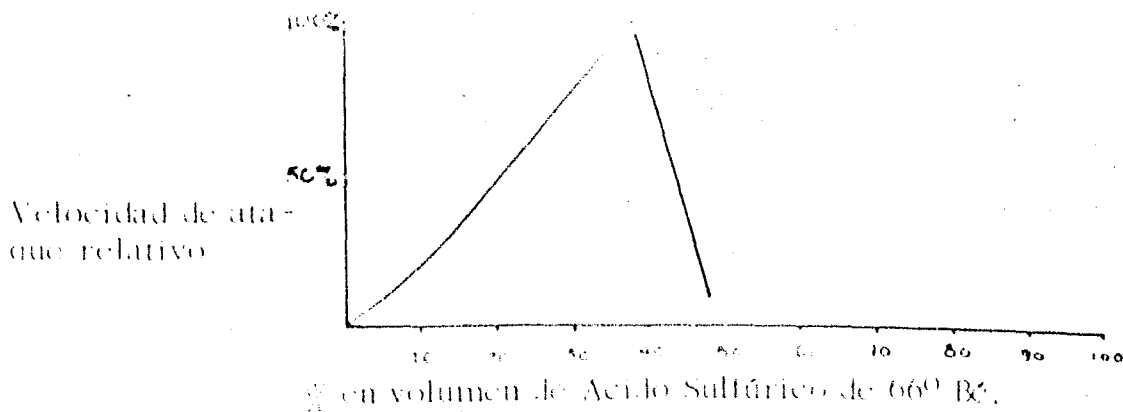


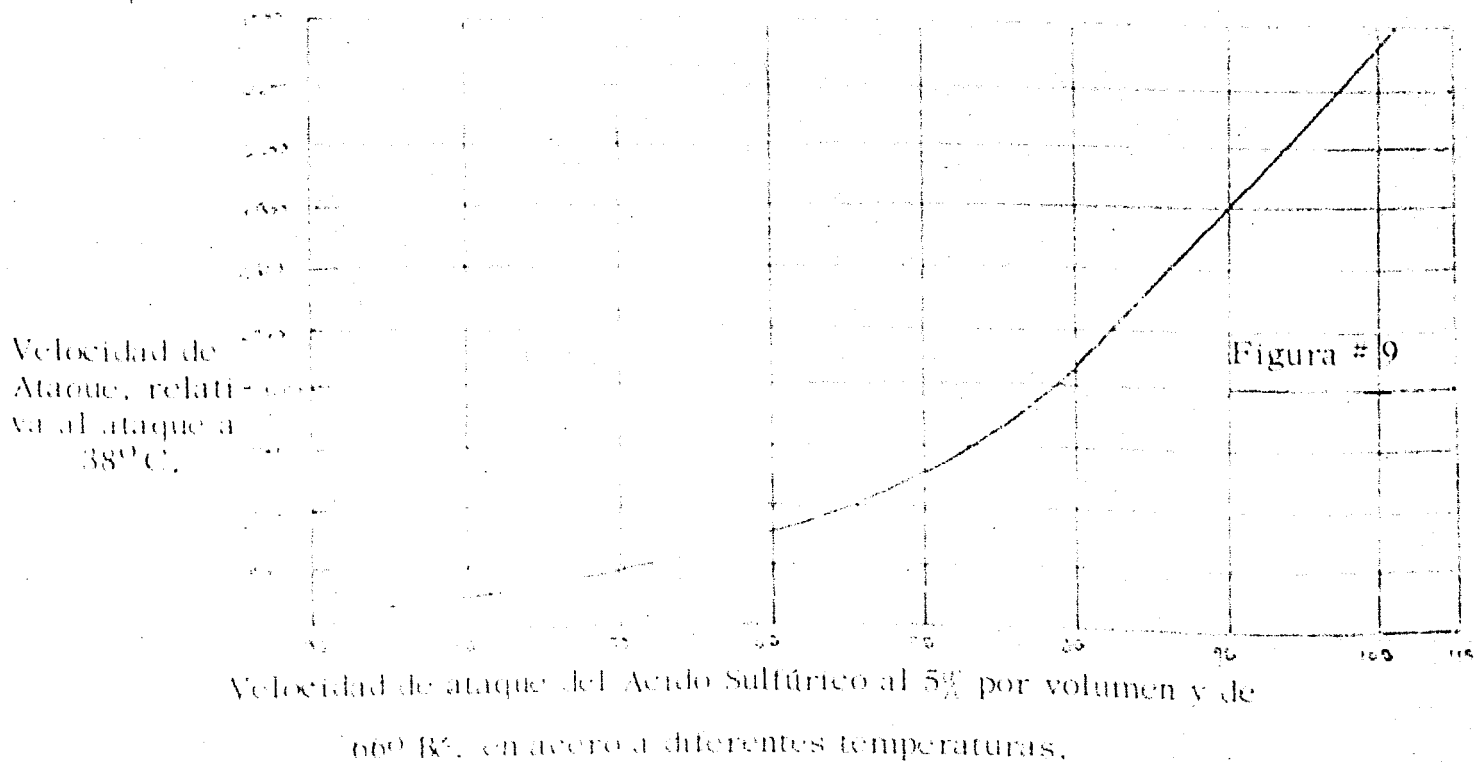
Figura # 8 (b)

Los baños desincrustantes se emplean generalmente entre los rangos de 2% a 20% en volumen de ácido sulfúrico 66° Beaume o su equivalente en otros grados comerciales y no a su poder máximo que es el de su mayor actividad a 38% de concentración.

A mayor viscosidad del baño, mayores serán las pérdidas y al haber un mayor desperdicio de ácido se disminuye el eficiente uso, éste a concentraciones altas.

Temperatura.

Mientras que la actividad de la solución ácida dentro del rango usual de desincrustación es proporcional a su concentración, la actividad de un baño de desincrustación también se ve fuertemente afectada por su temperatura. (Figura # 9).



La tendencia reciente hacia una desincrustación más rápida a temperaturas y concentraciones menores aún en los procesos no continuos ha ocasionado el uso de inhibidores más débiles y solubles que contienen un alto porcentaje de agentes de superficie (surfactantes).

Anteriormente en una desincrustación con ácido sulfúrico se empleaba un inhibidor potente a  $82 - 84^{\circ}\text{C}$ .; actualmente estos baños se operan a  $70^{\circ}\text{C}$ . o menos usando un inhibidor más débil. Esto ha redundado en beneficio de la calidad del acero (con alto contenido de carbón) debido a que los baños usados a estas bajas temperaturas no requieren la adición de cloruro de sodio que anteriormente se empleaba para mejorar la acción inhibidora y para eliminar las zonas picadas o quemadas. Este cloruro de sodio interfería con ciertos procesos regenerativos del ácido sulfúrico en los baños desincrustantes.

En las reacciones de desincrustación, se pueden formar productos secundarios que tienen pobre o nula acción inhibidora debido a la formación de hidrógeno naciente en la reacción.

Inhibidores no estables pueden formar por descomposición productos; insolubles, aceitosos o alquitranados, los que no sólo ensuciarán el material que se está desincrustando al sacar a éste del baño, sino que pueden interferir seriamente en la regeneración del ácido empleado.

Cuando en una desincrustación se requieran condiciones especiales como son altas temperaturas, altas concentraciones de ácido, y que haya altos contenidos de

sales de hierro, es muy importante el poder seleccionar al inhibidor adecuado que se adapte a estas condiciones tan severas.

### Sulfato.

Un baño desincrustante fresco a una temperatura determinada continuará removiendo la incrustación de un acero en el mismo tiempo, sin embargo los baños desincrustantes no se mantienen frescos.

Las pequeñas cantidades de incrustación y las grandes cantidades de metal que se disuelven en el ácido forman sulfato ferroso en solución. La presencia de este sulfato ferroso tiene un marcado efecto en la desincrustación, pues retarda la acción removedora de la incrustación, haciendo actuar al baño como si la cantidad de ácido hubiese sido reducida (efecto de la variación de la cantidad de sulfato en el baño - Figura # 10).

Debido a esta acción retardadora del sulfato ferroso, los baños desincrustantes se eliminan antes de que hayan disuelto suficiente hierro para que queden saturados.

### Tiempo.

Para que el ácido penetre a la incrustación y la empuje o sople fuera, se requiere algo de tiempo, y aún mayor tiempo es necesario para aljar la incrustación más profunda.

Reducción de actividad del ácido (en %) debido al hierro disuelto

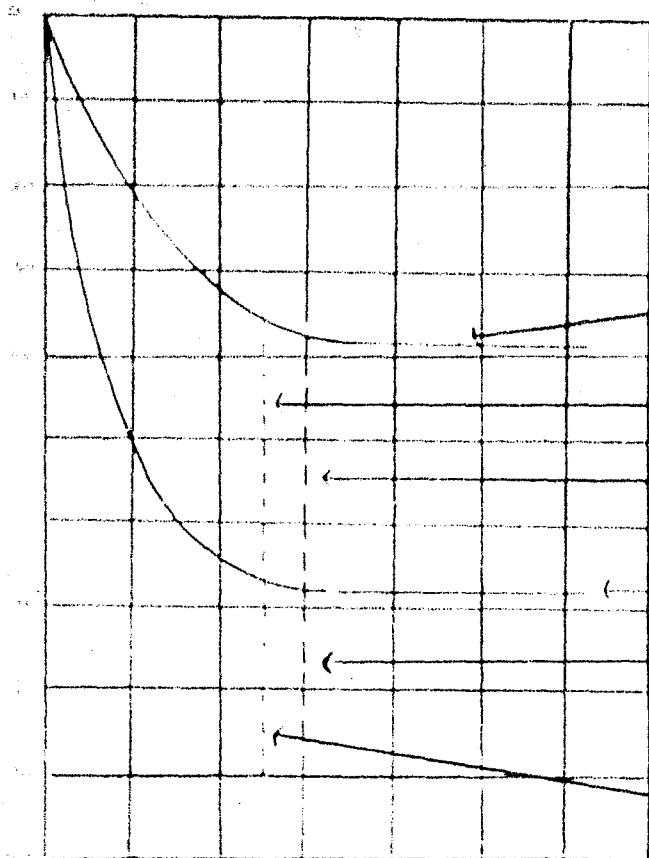


Figura # 10

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 5% a 60° B<sub>é</sub>.

0.60 kg. /Lt. de hierro

0.72 kg. /Lt. de hierro

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 60° B<sub>é</sub>. al 2.5%

Concentraciones de sulfato en las que usualmente se vacía el ácido.

Concentraciones de sulfato en las que usualmente se descontinúan las adiciones de ácido.

FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O presente (Kg. Lt.)

Efecto de la concentración de sulfato de hierro en el ataque de una solución al 2½ y al 5% en volumen de ácido sulfúrico a 60° B<sub>é</sub>, en acero. Temperatura 86° C. Tiempo de inmersión 15 minutos.

1 Kg. de FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O equivale aproximadamente a 0.75 Kg. Lt. de Hierro.

Para poder remover la incrustación se deberá de dejar el ácido en contacto con ella tanto tiempo como sea necesario.

Agitación.

Los baños de cualquier característica actuarán más rápido, con agitación, esto se ve claramente al analizar al ácido en contacto con cualquier parte de la superficie ya que desincrustará más y más sulfato perdiendo su poder rápidamente (Figura # 10).

Mientras más rápido se pueda tener ácido fresco en contacto con la superficie y el sulfato contaminado sea dispersado a través de la solución alejándolo del metal, la desincrustación será mayor. La agitación puede también servir al lavar partículas de incrustación alojadas del metal y así exponer nuevas áreas frescas a la acción del ácido. Esto también puede lograrse por medios mecánicos tales como cepillos.

La agitación en los baños puede producirse mecánicamente al mover el material a través de la solución como en los métodos continuos o semi-continuos descritos anteriormente.

La agitación también se obtiene al mover la solución posteriormente a que esté estacionaria en el tanque.

La forma más usual de agitación es la producida por el vapor empleado para calentar el baño, el cual puede ser descargado a través de hoyos en la tubería de plomo cerca del fondo del tanque, o por medio de un inyector que se localiza generalmente al final de la rama de desincrustación.

Por medio de un calentador que se encuentra sumergido, se proveen tanto calor como agitación violenta, el calor formado por el gas en combustión es transmitido a los baños desincrustantes a través de las paredes de la cámara de combustión que se localizan en el fondo del tanque desincrustante y de donde los productos de combustión son descargados a la solución junto con aire comprimido.

Considerando los efectos de la concentración del ácido, baño, temperatura, agitación y la acción retardadora del sulfato ferroso, se puede establecer un método adecuado para la operación del baño.

Debido a que un baño recién preparado no contiene sulfato ferroso, éste puede ser operado a una temperatura relativamente baja y con una cantidad de ácido de 2 a 20% en volumen que serán necesarios para complementar la desincrustación en un tiempo determinado.

Al acumularse ya sea por medio de un aumento de concentración o por medio de un aumento de temperatura del baño, el hierro puede retardar la acción desincrustante o acelerarla.

Ambos métodos se emplean frecuentemente, sin embargo el método más usual consiste en mantener la concentración del ácido constante y aumentar la temperatura para así eliminar o disminuir la acción retardadora del sulfato ferroso.

Se encontrará que una vez que los baños desincrustantes hayan disuelto cerca de 0,300 kg. ltr. de sulfato ferroso su propiedad removeadora de incrustación



se habrá reducido también apreciablemente (Figura # 10).

Es en este punto o cerca de este punto cuando los obreros dejan de añadir ácido para que el que queda sea consumido lo más posible en una desincrustación útil quedando la menor cantidad de sobrante que es eliminada en el drenaje. Para eliminar el ácido debidamente debilitado y el sulfato ferroso que se continúa acumulando, se sube gradualmente la temperatura del baño, hasta llegar al punto de ebullición, usándose el baño mientras desincruste en un tiempo determinado, en este momento se le elimina. De esta manera, la fuerza ácida podrá ser reducida marcadamente y por medio de un control cuidadoso de los baños utilizados, se podrá hacer un ahorro substancial en el ácido.

#### TRATAMIENTO DEL METAL DESINCRUSTADO

Lavado en frío. Cuando se remueve el metal del baño desincrustante, una película delgada de ácido y sales quedan adheridas. Ambos ácido y sales, (con excepción de algunas producidas por el ácido fosfórico), ayudan a que se desarrolle el herrumbre y por lo tanto deberán ser totalmente eliminados antes de que sequen. Para esto se debe contar con una gran cantidad de agua y tanques de acero, madera o concreto donde se puedan lavar las piezas, aunque también se puede emplear una manguera.

El material desincrustado deberá ser lavado rápidamente, especialmente si el ácido está caliente, debido a que si la película seca es difícil enjuagar los residuos, que causarán problemas en todas las operaciones subsecuentes.

Enjuague Caliente Final - Neutralización. - Una vez que se haya removido o cuando menos diluido el ácido y las sales de hierro, el metal deberá ser tratado apropiadamente para las operaciones a que habrán de seguir.

A continuación se dan varias razones por las cuales hay que tratar el material desincrustado ya enjuagado:

1. Para Evitar que el Material se Oxide. -

Se usan soluciones alcalinas débiles, de 2 a 4 cm<sup>3</sup>/L., de carbonato de sodio o de fosfato trisódico en un enjuague hirviendo seguido al enjuague frío. La superficie alcalina resultante no se oxidará rápidamente, pero si se ha de almacenar por un largo período de tiempo o si se va a dejar a la intemperie, se deberá aceitar esta superficie, (aunque este tratamiento no es el apropiado si va a pintarse).

2. Para Preparar el Material para su Pintado. -

La pintura no se adhiere bien y se ampolla en una atmósfera húmeda si se aplica a una superficie alcalina y aún si ésta es neutra. Para que una superficie pueda ser pintada, deberá presentar un pH de 3 a 5.

También es importante el saber qué ácido empleamos para conseguir el pH adecuado. Los ácidos fosfórico y crómico o una mezcla de ambos, producen los mejores resultados. El ácido muriático o sulfúrico no deberá ser usado, ya que sus residuos favorecen a la oxidación bajo la pintura.

La limpieza del enjuague hirviente es muy importante, ya que en este punto es donde una superficie limpiada adecuadamente puede ser echada a perder antes de ser pintada. Este baño deberá ser cambiado frecuentemente y el tanque deberá limpiarse antes de preparar un nuevo baño.

3. Para Limpiarlo convenientemente para un Galvanizado en Caliente. -

Todo trabajo que vaya a ser galvanizado en caliente o electro-depositado, deberá ser limpiado de nuevo, inmediatamente antes que sean aplicados los recubrimientos metálicos con objeto de poder remover las películas delgadas de oxidación o las manchas de agua, que se forman normalmente y en caso de galvanizado, el poder dejar cloruros en la superficie. Para este propósito generalmente se emplea ácido muriático, diluido, (almacenado en tanques de madera), justamente antes que el material sea sumergido en el cinc fundido.

4. Para Mantenerlo en Condiciones Limpias antes de Estañarlo o Cromarlo. -

Las láminas o materiales que deberán ser recubiertos con cinc fundido después de haber sido desincrustado y enjuagado se almacenan en recipientes metálicos que generalmente contienen ácido muriático muy diluido. Aunque el estañado se vaya a efectuar inmediatamente después que el material haya sido desincrustado en ácido sulfúrico, éste deberá ser sumergido en ácido muriático diluido ya que los residuos de sulfatos evitan el estañado, mientras que los residuos de cloruros lo favorecen.

5. Para Recubrirlo antes de Troquelarlo. -

Productos tales como alambre y lingotes que van a ser rolados o troquelados en frío, después de haber sido desincrustados y enjuagados en frío, son generalmente sumergidos una o varias veces en un baño caliente de óxido de calcio con el doble propósito de neutralizarlo de residuos ácidos y para facilitar el desarrollo de una capa de óxido de calcio en la superficie, la que facilita el troquelado. El óxido de calcio es poco soluble en agua y menos en la solución. La pequeña cantidad que se disuelve, junto con la cantidad mayor que no se disuelve es convertida en sulfatos y carbonatos de calcio que recubren el material y que una vez que éste se haya secado, aumenta la adherencia de los lubricantes de troquelado.

El calcado se consigue al sumergir el material enjuagado en un baño caliente de óxido de calcio, tantas veces como se requiera para el desarrollo del grosor deseado de películas de cal, a continuación deberá ser secado.

Ultimamente se está empleando el borax en lugar del óxido de calcio y así se obtienen mejores resultados con capas de fosfato con un lubricante apropiado.

Para preparar cables de alambre, para rolado o troquelado antes se horneara en túneles a temperaturas de cerca de 1490° C. durante horas con el doble propósito de secar la cal y expeler el hidrógeno. El tiempo se ha reducido considerablemente con el desarrollo de nuevos inhibidores y ahora los

cables de alambre se secan durante unos cuantos minutos en hornos tipo "flash".

ANALISIS DE BAÑOS DESINCORUSTANTES CON APARATOS DE LABORATORIO

Frecuentemente se hace referencia a la fuerza de un ácido. Esto no puede determinarse como anteriormente se hacía, por medio del gusto ni por medio de un hidrómetro, debido a que el ácido y las sales de hierro en la solución afectan su lectura. Se pueden utilizar tanto aparatos de laboratorio como métodos de laboratorio para titular ácido y hierro en soluciones de baños desincrustantes. En acerías es común que estos aparatos se instalen cerca de la solución desincrustante o en tanques cubicalos, haciéndose titulaciones a intervalos regulares, checando que el ácido sea agregado en cantidades medidas que son gráficas a fin de poder mantener el baño en su concentración adecuada.

Equipo. -

- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 gradilla                      | 1 cilindro de medida de 5 ml. |
| 2 matraces de vidrio de 250 ml. | 2 buretas de 25 ml.           |
| 2 agitadores de vidrio          | 1 pipeta de 1 ml.             |
| 1 botella indicadora de vidrio  | 1 pipeta de 5 ml.             |

Reactivos. -

- Solución de hidróxido de sodio 1.0 Normal
- Solución de permanganato de potasio 0.1 Normal
- Indicador de naranja de metilo (1 gr. por cada 1 lt. de agua)

Acido sulfúrico concentrado Q. P.

Determinación de Porciento de Acido Sulfúrico por volúmen y Cantidad en

Peso. -

1. Se transfieren con una pipeta 5 ml. de muestra de la solución desincrustante a un matraz limpio de 250 ml.
2. Se añaden 100 ml. de agua destilada y 2 ó 3 gotas de indicador Naranja de metilo.
3. Se llena una bureta con solución 1.0 Normal de hidróxido de sodio.
4. Se agita la muestra constantemente y se titula añadiendo poco a poco la solución 1.0 Normal de hidróxido de sodio, hasta que el color vire de rojo a amarillo.
5. Se lee en la bureta la cantidad en mls. de solución cáustica empleada.

Cálculos. - La cantidad de sosa en mls. utilizada (en el paso 5) multiplicada por el factor apropiado (Tabla de abajo), nos dará la cantidad deseada de ácido sulfúrico 60° ó 66° Bè.

	<u>Ac. Sulfúrico 60° Bè.</u>	<u>Ac. Sulfúrico 66° Bè.</u>
Porciento en volumen	0.873	0.740
Gramos por 100 ml.	1.053	1.263
(Libras por 100 gal.)	(8.771)	(10.525)

Determinación de porcentaje de ácido muriático por volumen y cantidad en

peso.

1. Se miden con una pipeta 5 ml. de la muestra de solución desincrustante y se transfieren a un matraz de 250 ml.
2. Se añaden 100 mls. de agua destilada y 2 ó 3 gotas de solución indicadora de Naranja de metilo.
3. Se llena una bureta con solución 1.0 Normal de hidróxido de sodio.
4. Agitando la muestra constantemente se titula con solución 1.0 Normal de hidróxido de sodio hasta que vare del color rojo al amarillo.
5. Se leen en la bureta la cantidad de mls. de solución 1.0 Normal de hidróxido de sodio empleada.

Cálculos. - El número de mls. de solución utilizados (paso # 5) multiplicado por el factor apropiado (ver abajo) nos dará la cantidad deseada de ácido muriático de 18° a 20° Bé.

	<u>Muriático 20° Bé.</u>	<u>Muriático 18° Bé.</u>
Porcentaje en volumen	1,999	2,288
Gramos por 100 mls.	2,319	2,612
(Libras por 100 gal.)	(19,353)	(21,796)

Determinación de contenido de hierro. -

1. Se mide con una pipeta 1 ml. de solución desincrustante y se transfieren a un matraz de 250 ml.
2. Añadiendo 100 ml. de agua destilada, se miden 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se añaden lentamente al matraz, con agitación.
3. Se llena una bureta con una solución 0.1 Normal de Permanganato de Potasio.
4. Agitando la muestra constantemente, y se titula hasta que el color cambie a un tono ligeramente rosado que persista quince segundos.
5. Se toma de la bureta la lectura en mls. de solución 0.1 Normal de Permanganato de Potasio usada.

Cálculos. - El número de mls. de Permanganato de Potasio 0.1 Normal empleados, multiplicado por 0.00558 nos dará la cantidad de Hierro (Fe) en g/Lt.)

ANÁLISIS DE BAÑOS DESINCRUSTANTES

Este análisis sencillo, por medio del cual se pueden controlar rápida y eficazmente las operaciones desincrustantes, consiste básicamente en aparatos de medición (Figura # 11), calibrados especialmente, cápsulas de reactivos químicos de pruebas, un agitador de vidrio, un termómetro y una tarjeta de instrucciones. Las cápsulas contienen las cantidades apropiadas de reactivos e indicadores para analizar el baño desincrustante. Se requieren dos cápsulas diferentes para cada



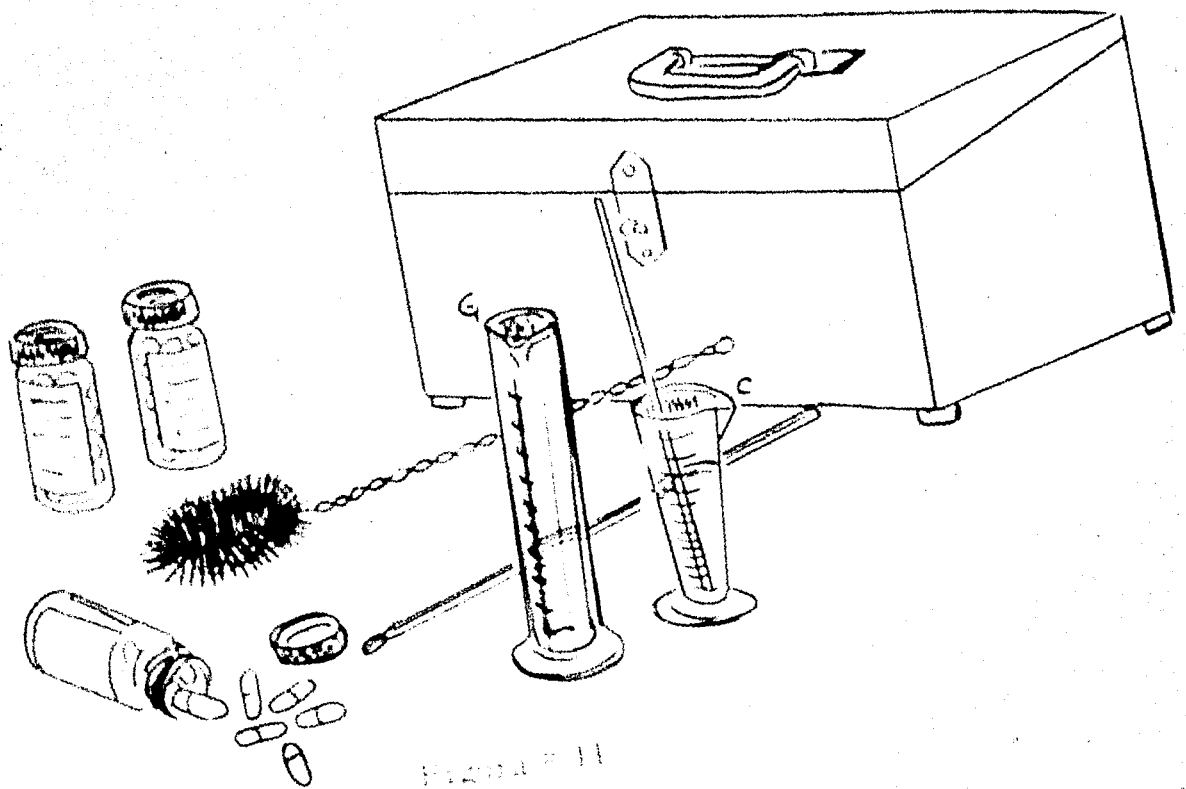


Figura # 11

analista de hierro y solamente se necesita una para la determinación de la concentración del ácido.

Se pueden adquirir cápsulas de prueba para cada uno de los cuatro grados comerciales de ácidos, como lo son el ácido sulfúrico de 600 y 660 B $\acute{e}$ . y el ácido muriático de 180 y 200 B $\acute{e}$ .

Es obviamente importante utilizar la cápsula de prueba particular para cada tipo y grado de ácido empleado (Figura # 12).

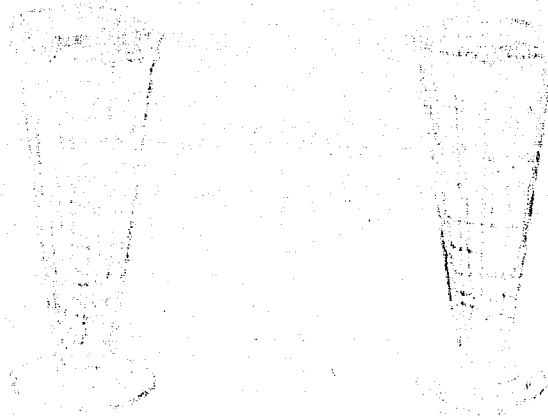


Figura # 12

El procedimiento de prueba tanto para ácido como para hierro consiste sencillamente en diluir una muestra medida del líquido con agua en el cilindro de dilución "G" (Figura # 11) a continuación se vacía el contenido de la cápsula o cápsulas apropiadas, dentro del vaso cónico de pruebas "C" que está calibrado con dos escalas (Figura # 12).

Una de las escalas se utiliza para determinar la concentración del ácido y la otra para determinar el contenido de hierro. La muestra del cilindro de dilución se añade lentamente al vaso cónico hasta que la solución que se encuentra en este vaso, viere de color. En este punto la concentración del ácido o del fierro estará indicada en la escala correspondiente.

Estadísticas. - El proceso desmenuzante podrá ser operado eficazmente,

teniendo a la mano datos para el análisis del baño. Un procedimiento muy sencillo para registrar la concentración y la temperatura del baño desincrustante, su contenido de hierro, cuando y cuánta cantidad de ácido se le añade, el número de toneladas desincrustadas, etc., es por medio de la tabulación de estos datos a intervalos regulares, utilizando para ello una tabla similar a la (Figura # 13).

De estas tabulaciones se podrá determinar fácilmente el consumo de ácido por tonelada en la semana de trabajo, así como otros datos interesantes. La gráfica nos indicará si el baño ha sido eliminado con un alto contenido de ácido o antes de que se hubiera disuelto suficiente cantidad de hierro. Estas tabulaciones también nos pueden servir para comparar el efecto de diferentes procedimientos desincrustantes, sobre períodos de tiempo lo suficientemente largos para poder establecer curvas definidas.

Hay también otras tabulaciones para comparar un procedimiento con otro o para poder comparar el efecto de un inhibidor a través de la vida de un solo baño.

Las tablas y hojas para cálculos de las Figuras # 14 y 15 nos facilitan el cálculo del costo necesario por tonelada, o preferentemente por metro cuadrado. Al comparar este valor con dos o más determinaciones se podrán ver de inmediato las ventajas inherentes.

El análisis de baños manteniendo datos sobre ácido, tonelaje, consumo de ácido, etc., proviene de la pérdida de ácido.

Sin embargo, el desincrustar en ácido que no ha sido inhibido significa un

## DESHIDRATACION

CANTIDAD		MATERIA		MATERIA		MATERIA		MATERIA		MATERIA		MATERIA	
		SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50													

### ANALISIS DE LA MATERIA

CANTIDAD	MATERIA		MATERIA		MATERIA		MATERIA	
	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA	SECA	MOJADA
1 <sup>a</sup> muestra								
2 <sup>a</sup> muestra								
3 <sup>a</sup> muestra								
4 <sup>a</sup> muestra								
5 <sup>a</sup> muestra								
6 <sup>a</sup> muestra								
7 <sup>a</sup> muestra								
8 <sup>a</sup> muestra								
9 <sup>a</sup> muestra								
10 <sup>a</sup> muestra								
11 <sup>a</sup> muestra								
12 <sup>a</sup> muestra								
13 <sup>a</sup> muestra								
14 <sup>a</sup> muestra								
15 <sup>a</sup> muestra								
16 <sup>a</sup> muestra								
17 <sup>a</sup> muestra								
18 <sup>a</sup> muestra								
19 <sup>a</sup> muestra								
20 <sup>a</sup> muestra								
21 <sup>a</sup> muestra								
22 <sup>a</sup> muestra								
23 <sup>a</sup> muestra								
24 <sup>a</sup> muestra								
25 <sup>a</sup> muestra								
26 <sup>a</sup> muestra								
27 <sup>a</sup> muestra								
28 <sup>a</sup> muestra								
29 <sup>a</sup> muestra								
30 <sup>a</sup> muestra								

- (1) Cantidad de muestra \_\_\_\_\_ Kgs.
- (2) Agua de humedad \_\_\_\_\_ Kgs.
- (3) Agua de humedad (1)/(2) \_\_\_\_\_ Kgs.
- (4) Humedad residual \_\_\_\_\_ Kgs. H<sub>2</sub>O
- (5) Cantidad de muestra seca \_\_\_\_\_ Kgs.
- (6) Agua de humedad por cada 100 Kgs. (4)/(5) \_\_\_\_\_ Kgs.
- (7) Agua de humedad por cada 100 Kgs. (4)/(5) \_\_\_\_\_ Kgs.
- (8) Humedad por cada 100 Kgs. (4)/(5) \_\_\_\_\_ Kgs. H<sub>2</sub>O

Este análisis se realiza con el fin de determinar la cantidad de agua que se encuentra en la muestra y la cantidad de agua que se evaporó durante el proceso de deshidratación. El agua de humedad se determina por la diferencia entre el peso de la muestra antes y después de la deshidratación. El agua de humedad residual se determina por la diferencia entre el peso de la muestra antes y después de la deshidratación y el consumo de agua durante el proceso de deshidratación. Este análisis se realiza con el fin de determinar la cantidad de agua que se encuentra en la muestra y la cantidad de agua que se evaporó durante el proceso de deshidratación.

Figura # 13


1. The first part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The list is organized in a table format with two columns and several rows.


No.	Name	Address	Occupation		Age	Sex	Religion	Marital Status	Remarks
			Male	Female					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68									
69									
70									
71									
72									
73									
74									
75									
76									
77									
78									
79									
80									
81									
82									
83									
84									
85									
86									
87									
88									
89									
90									
91									
92									
93									
94									
95									
96									
97									
98									
99									
100									

This document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The list is organized in a table format with two columns and several rows.

1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

COSTO DE MATERIALES			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
4	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
5	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	

COSTO DE MANO DE OBRAS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
4	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
5	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
6	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
7	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
8	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
9	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

COSTO DE GASTOS INDIRECTOS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
4	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
5	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
6	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

COSTO DE PRODUCTOS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
4	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
5	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
6	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

COSTO DE PRODUCTOS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
4	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
5	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
6	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

7	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	\$
8	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
9	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
10	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
11	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
12	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	
13	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	
14	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	

COSTO DE PRODUCTOS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	\$
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	
3	El costo de los gastos indirectos	(6) x (9) = 54	

COSTO DE PRODUCTOS			
1	El costo de los materiales	(5) x (7) = 35	\$
2	El costo de la mano de obra	(4) x (8) = 32	

proceso con mucho desperdicio, debido a que, para poder remover la incrustación, es necesario que el ácido disuelva algo del metal que se encuentra abajo de esta incrustación. El ácido sin inhibidor continúa disolviendo al metal después que ha removido la incrustación causando con esto que se piquen seriamente algunas partes del acero antes que haya sido removida toda la incrustación del mismo; aquí no sólo se pierde metal, sino que también se pierde ácido. Es esta pérdida de ácido y metal, la que se evita al utilizar ácidos desincrustantes con soluciones inhibidoras.

C A P I T U L O III



## INHIBIDORES

### QUE ES UN INHIBIDOR Y CUAL ES SU VALOR REAL?

Los primeros inhibidores presentaban una acción controladora en el metal, pero eran extremadamente débiles y se utilizaban principalmente para retener vapores ácidos en la espuma que formaban en el baño.

Últimamente se han desarrollado inhibidores que al añadirse en pequeñas cantidades a baños desincrustantes retardan grandemente el ataque del ácido al metal sin afectar la habilidad del ácido para remover la incrustación.

A los inhibidores también se les llama controladores de desincrustación, ya que esto describe más claramente su acción, puesto que hay algunos compuestos químicos como es el caso del arsénico que no sólo previenen el ataque del ácido al metal, sino que también evitan que la incrustación sea removida.

Los inhibidores son compuestos polares orgánicos y complejos, de un peso molecular elevado.

Los inhibidores que se ofrecen a la industria son altamente concentrados y se utilizan en baños desincrustantes en cantidades muy pequeñas, sus concentraciones son del orden de 0,125% a 1,00% por volumen del ácido concentrado.

Hay numerosos grados y tipos de inhibidores desarrollados a fin de poder

proporcionar una desincrustación efectiva y selectiva para los diferentes tipos de acero y aceros usados comúnmente. Unos son líquidos y otros polvos según las necesidades del cliente, unos producen un manto de espuma que ayuda a reducir los vapores ácidos que se forman en los procesos de desincrustación y otros no. (Tablas # 2 y 3).

*(Cómo o por qué actúan los inhibidores?)* - Una teoría muy simplificada supone que su comportamiento se debe al efecto de sobrevoltaje, o al efecto causado cuando pequeñas partículas de inhibidor son llevadas por el ácido hasta la superficie del metal y allí forman una película mono molecular que actúa como una pantalla que desalaja el ácido evitando que éste continúe disolviendo el metal.

Esta película protectora y estacionaria generalmente está formada de moléculas orientadas, debido a las características polares que presenta este radical. Al efectuar esto, se logran dos grandes beneficios: (1) ahorro en ácido, y (2) ahorro en metal. Existe una relación directa entre metal disuelto y ácido consumido y es obvio que cualquier cosa que frene o reduzca el ataque a la base metálica tendrá una consecuencia final que se traduce en ahorro de costo.

### LA DESINCRUSTACION DEL ACERO Y EL COMPORTAMIENTO DE LOS INHIBIDORES COMO UNA REACCION ELECTROQUIMICA

Las células electroquímicas atacan a los metales y por esta razón aparecen en la superficie de los metales tratamientos que actúan como células galvánicas.

La corrosión galvánica puede suceder cuando dos metales diferentes están

Inhibidor	J	K	L	A	D	E	F	G
Tipo	pelo apuntante	pelo no apuntante	1. 1. 1. 1.	exp. grande	exp. grande	exp. grande	exp. grande	exp. grande
Se usa	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico
Temperatura	cualquier	cualquier	cualquier	cualquier	cualquier	cualquier	cualquier	cualquier
Selectivo para aceros	no	no	no	no	no	no	no	no
tipos:	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico
Usos	desincrustación	desincrustación	desincrustación	desincrustación	desincrustación	desincrustación	desincrustación	desincrustación
características	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño	lamina de esteño
Relación empleada normalmente	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100

Contabilidad de los gastos de explotación

Indicador	A	B	C	D	E	F	G
Tránsito de los gastos de explotación			Ingresos				
Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación
Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación
Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación
Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación
Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación	Gastos de explotación

en contacto eléctrico por medio de un conductor eléctrico y son expuestos a una solución conductiva. Existe una diferencia de potencial eléctrico entre diferentes metales y esta diferencia de potencial actúa como un gradiente para pasar corriente a través del metal corroído. Este flujo de corriente provoca la corrosión de uno de los metales en el par.

Mientras mayor sea la diferencia de potencial entre dos metales, mayor será la probabilidad de que se efectúe una corrosión galvánica. Es importante notar que la corrosión galvánica causará deterioro en uno de los metales llamado el más "activo" y éste será el que se encuentra corroído más en el medio corrosivo, aún si estuviese por sí solo; el otro metal recibe el nombre del metal más "noble".

Las áreas relativas de los dos metales son muy importantes ya que al haber una área mayor del metal más noble (con respecto al metal más activo), se acelerará el ataque y viceversa.

La velocidad de corrosión estará dada en función de la naturaleza de los metales y de las sustancias corrosivas, así como de la magnitud del potencial eléctrico.

La mayoría de los metales existen en su estado natural como compuestos (óxidos, sulfuros, etc.). Este estado es su estado termodinámico estable.

Al transformar o manufacturar estos compuestos en utensilios metálicos, su estado termodinámico no habrá variado a menos que se haya modificado

Serie Galvánica de Metales y Aleaciones.

Terminal Corrosiva (Anódica o Menos Noble)

- Magnesio
- Magnesio (aleaciones)
- Zinc
- Aluminio 25
- Calcio
- Aluminio 17.5%
- Hierro puro
- Hierro forjado (cast.)
- Cromo-Hierro (activo) Hierro Inox. tipo 410
- Hierro forjado Resist-Ni
- 18-8 cromo-Nickel-Hierro (activo) Inox. tipo 304
- 18-8-3 cromo-Nickel-molibdeno-hierro (activo) Inox. tipo 316
- Plomo soldadura
- Plomo
- Estado
- Nickel (activo)
- Inconel Nickel-cromo (aleación (activo))
- Hastelloy (aleación C (activo))
- Latón
- Cobre
- Bronce
- Cobre-nickel (aleaciones)
- Monel nickel-cobre (aleaciones)
- Plata soldadura
- Nickel (pasivo)
- Inconel-cromo (aleación (pasivo))
- Cromo-hierro (pasiva) - Inox. tipo 410
- Titanio
- 18-8 cromo-nickel-hierro (pasiva) - Inox. tipo 304
- 18-8-3 cromo-nickel-molibdeno-hierro (pasiva) Inox. tipo 316
- Hastelloy (aleación C (pasiva))
- Plata
- Gráfico
- Oro
- Platino

Terminal Protegida (Católica o más noble)

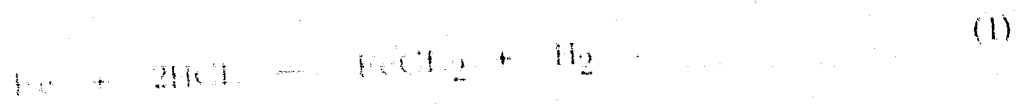
substancialmente la estructura del compuesto (como sucede en las aleaciones). Al exponer estos materiales al medio ambiente, tenderán a regresar a su estado natural (si no se protegen especialmente para formar compuestos).

La corrosión será posible solamente cuando los productos sean más estables que los reactivos. No todas las reacciones termodinámicas tienen lugar.

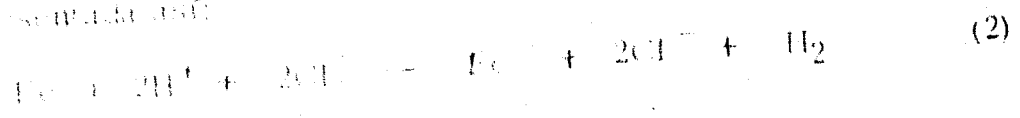
La mayoría de las reacciones de corrosión son electroquímicas. El material más usado industrialmente es el hierro, por lo tanto con este metal se ilustra la teoría de la corrosión electroquímica.

Primero se considerará el comportamiento de hierro en ácido clorhídrico, al entrar en contacto, se desprenderá hidrógeno y el hierro se disolverá gradualmente en la solución.

La reacción que se efectúa es la siguiente:

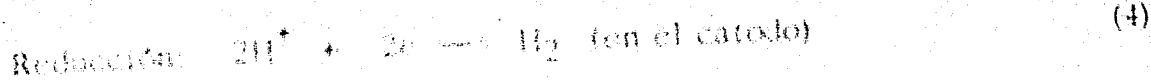
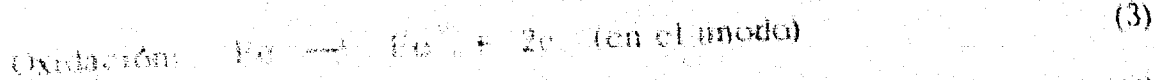


Lo que pasa en la solución es lo siguiente: Al entrar el hierro en contacto con el ácido clorhídrico, la solución se ioniza, el ácido clorhídrico se disocia en sus iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y cloro ( $\text{Cl}^-$ ), así también el cloruro ferroso en solución puede considerarse como iones ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e iones cloro ( $\text{Cl}^-$ ), quedando la ecuación 1 representada así:



De aquí se puede ver que el hierro se ha convertido a ion ferroso con dos

cargas positivas y por definición, se dice que el hierro se ha oxidado (pérdida de electrones). Por otro lado, los iones hidrógeno han ganado un electrón cada uno y por definición se han reducido (ganancia de electrones). La reacción total se puede separar en dos reacciones:



Tanto la ecuación (3) como la (4) tienen lugar en la superficie del metal. El lugar en donde ocurre la oxidación se define como "ánodo".

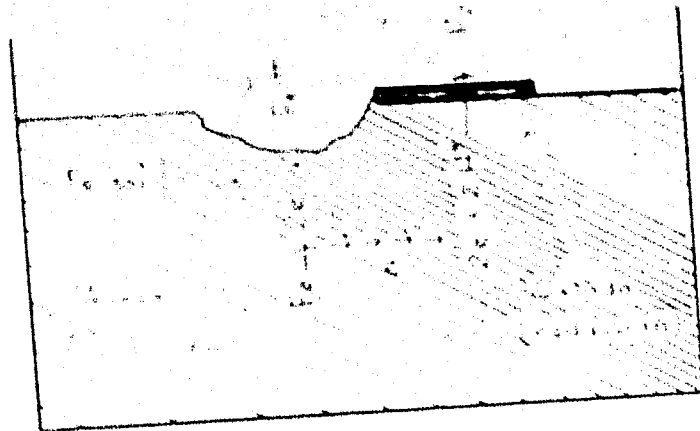
Existe un potencial eléctrico entre las áreas anódicas y catódicas. Los electrones producidos en la ecuación (3) fluyen a través del metal hacia las áreas catódicas para tomar parte en la reacción de la ecuación (4). Los iones hidrógeno que se encuentran cerca del área anódica, no son necesarios allí, por lo que fluyen (bajo la influencia de la diferencia de potencial) hacia el cátodo para mantener la reacción de reducción. Existe un circuito eléctrico completo y hay un flujo de corriente del ánodo hacia el cátodo; mientras más rápidamente se convierte el hierro metálico a iones ferrosos (habrá mayor corrosión) mayor será el flujo de corriente que fluye en esta celda de corrosión.

El mecanismo del ejemplo anterior se puede representar por medio de la (Figura # 16)



Acido Clorhídrico ( $H^+$  y  $Cl^-$ )

Corrosión



Corrosión de Hierro en Acido Clorhídrico

Figura 2.16

Muchas de estas células de corrosión se forman en la superficie metálica que se está corroyendo, siendo frecuente que los sitios donde se localizan el ánodo y cátodo cambien de lugar con lo que se llega a una corrosión uniforme.

Las ecuaciones (3) y (4) deben ocurrir a la misma velocidad, a fin de que se conserve la neutralidad eléctrica del metal. Si para la ecuación (3) también parafá la ecuación (4), y viceversa. Esto es muy importante en el control de la corrosión.

El comportamiento electroquímico de otros metales y soluciones corrosivas es muy similar y es por esto que en todos los casos de corrosión electroquímica, la reacción química consiste en la oxidación del metal (sólido) a su estado iónico en solución así:



Cuando se corroe una aleación puede haber varias reacciones anódicas simultáneamente. Por ejemplo, en la aleación aluminio-cobre, las reacciones anódicas pueden ser las siguientes:



Por lo tanto, las reacciones anódicas de un sistema son fácilmente deducibles.

Sin embargo, en las reacciones catódicas hay más posibilidades, ya que pueden ocurrir varios tipos de reducciones, como por ejemplo:

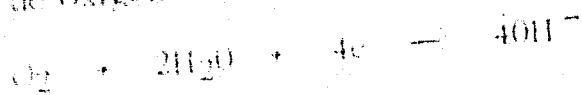
La formación de hidrógeno en soluciones ácidas.



La reducción de oxígeno en soluciones ácidas.



La reducción de oxígeno en soluciones neutras o alcalinas.



La reducción de los iones metálicos.



El depósito de los metales.



Las reacciones catódicas más comunes son las de formación de hidrógeno y las de reducción de oxígeno.

En una superficie metálica que se está corroyendo, pueden suceder diferentes reacciones catódicas simultáneamente.

Resumidamente, en el sentido electroquímico, la corrosión ocurre en metales sólidos que oxidan a iones metálicos cargados positivamente (cationes) en solución. Esto sucede en áreas llamadas ánodos. El exceso de electrones resultante pasa a través del metal a las superficies de menor área que se denominan cátodos en donde son reducidos mediante una reacción de reducción. La solución corrosiva deberá contener especies químicas que puedan ser reducidas en el cátodo, así como iones entre el cátodo y el ánodo capaces de cerrar el circuito eléctrico por lo tanto esta solución deberá ser un electrolito. Existe un flujo de corriente que fluye a través de la solución del ánodo al cátodo debido a un gradiente que se denomina potencial eléctrico.

Termodinámicamente, para que una reacción se efectúe, deberá de experimentar un cambio negativo de energía libre ( $\Delta G$ ). Para reacciones electroquímicas:

$$\Delta G = -nFE \quad (5)$$

$n$  = número de electrones que intervienen en la reacción.

$F$  = constante de Faraday.

El potencial de celda. Para que la reacción sea posible, ( $\Delta G$  es negativo) el potencial de celda  $E$  deberá ser positivo.

Considerando por separado las reacciones en el ánodo y en el cátodo, vemos lo siguiente:

### Potencial de Equilibrio entre un Metal y sus Iones en Solución. -

Al sumergirse un trazo de hierro (sólido) en una solución que contenga iones ferrosos se establecerá una diferencia de potencial  $E$  ( $Fe \rightleftharpoons Fe^{++}$ ) existente entre el hierro atómico (sólido) y los iones ferrosos en solución, a este potencial, se le denomina "potencial de media celda", debido a que es el de un electrodo (el ánodo) que puede formar la mitad de una celda de corrosión. Existe también un potencial de media celda para las reacciones en el cátodo.

El valor de un potencial de media celda dependerá de la concentración de los iones en solución, así si los iones metálicos se encuentran presentes en 1 átomo gramo/lit. (que es la actividad unitaria) entonces esta media celda será el "Potencial estándar de media celda" y si el valor de este es conocido, entonces el potencial de media celda a cualquier concentración podrá ser calculado a partir de la ecuación de Nernst.

$$E_A = E_A^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(A_0)^P}{(A)^P}$$

A la reducción del hidrógeno:



se le ha designado un potencial estándar de media celda de cero volts. Todos los demás potenciales de media celda son medidos con respecto a este valor del hidrógeno.

TABLA # 4

Potenciales Estándar de Oxido-Reducción.

	<u>Volts.</u>
$Ag \rightarrow Ag^{+++} + 3e$	+ 1.498
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$	+ 1.229
$Ag \rightarrow Ag^+ + e$	+ 0.799
$Fe^{+++} + e \rightarrow Fe^{++}$	+ 0.771
$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH$	+ 0.401
$Cu \rightarrow Cu^{++} + 2e$	+ 0.337
$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$	+ 0.000
$Ni \rightarrow Ni^{++} + 2e$	- 0.250
$Fe \rightarrow Fe^{II} + 2e$	- 0.440
$Cr \rightarrow Cr^{III} + 3e$	- 0.744
$Zn \rightarrow Zn^{II} + 2e$	- 0.763
$Al \rightarrow Al^{III} + 3e$	- 1.662
$Na \rightarrow Na^+ + e$	- 2.714

Estos potenciales son llamadas de óxido-reducción (potenciales redox) porque representan reacciones de oxidación o reducción, según sea el sentido en que se desplazan; así el potencial de electrodos de cada una de ellas será el mismo.

El potencial de celda  $E$  que se utiliza en la ecuación del cambio de energía libre (5) se puede definir como la diferencia de potencial de entre las medias celdas anódicas y catódicas.

Por ejemplo al sumergir fierro en una solución ácida:

$$E = E(\text{H}^+/\text{H}_2) - E(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$$

$$E = 0 - (-0.440) = 0.440\text{V}$$

Es aquí se ve que al ser  $E$  positivo, por lo tanto el valor de  $\Delta G$  en la ecuación (5) es negativo y la reacción se realiza.

Si ahora sumergimos fierro en agua (neutra).

$$E = E(\text{O}_2/\text{OH}^-) - E(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$$

$$E = 0.401 - (-0.440) = 0.841\text{v.}$$

Por lo tanto, esta reacción también se realiza y representa la oxidación del fierro en aire húmedo.

Si ahora se considera oro en ácido clorhídrico el potencial de celda para esta reacción será

$$E = 0 - (-1.498) = 1.498\text{V}$$

Analizando como antes es imposible que la reducción se realice ya que el cambio de energía libre ( $\Delta G$ ) de la reacción (5) sería positivo. La conclusión anterior es válida para todas las combinaciones de metales con sus iones metálicos en donde los potenciales de oxidación sean más positivos que el hidrógeno.

La magnitud de la reacción galvánica en una célula está dada por sus potenciales de oxidación y reducción.

#### Factores importantes para que una Célula Galvánica Opere al 100% de Eficiencia.

1. La presión de solución del hierro (potencial) en el ánodo no deberá disminuir.
2. La concentración de iones ferricos en el baño no deberá aumentar.
3. La concentración de iones hidrógeno en el baño no deberá disminuir.
4. La presión de solución del hidrógeno (potencial) en el cátodo no deberá aumentar.

#### Inhibición.

La eficiencia de la inhibición será mayor mientras menos se puedan realizar los factores de 100% de eficiencia en una célula galvánica y como en una desincrustación de acero, estos factores no se mantienen en el proceso, hay lugar a la inhibición.

Aquí se puede concluir que la reacción se realice ya que el cambio de energía libre de la oxidación es positivo. La conclusión anterior es válida para todos los combinaciones de metales con sus iones metálicos en donde los potenciales de oxidación sean más positivos que el hidrógeno.

La magnitud de la reacción en una celda está dada por sus potenciales de oxidación.

#### Factores importantes para que una Celda Galvánica Opere al 100% de Eficiencia

1. La presión de oxidación del ánodo (potencial) en el ánodo no deberá disminuir.
2. La concentración de iones de zinc en el baño no deberá aumentar.
3. La concentración de iones hidrógeno en el baño no deberá disminuir.
4. La presión de oxidación del hidrógeno (potencial) en el cátodo no deberá aumentar.

#### Inhibición

La eficiencia de la inhibición será mayor mientras menos se puedan realizar los factores de inhibición en una celda galvánica y como en una desinhibición de zinc los factores no se mantienen en el proceso, hay lugar a la inhibición.



1. La concentración de iones ferrosos aumenta en la desincrustación de tal manera que con un aumento de 10 veces la concentración inicial, hay una reducción de la presión de solución del acero de 0,029 volts.

2. La concentración de iones hidrógeno en los procesos, disminuye muchas veces y al disminuir 10 veces la concentración original habrá una reducción de presión de solución del acero de 0,058 volts.

3. La presión de solución del hidrógeno en el cátodo aumenta debido a las altas temperaturas usadas en los procesos desincrustantes. Esto se lleva a cabo al utilizar amoníaco, pues ocasiona un aumento en la presión de solución del hidrógeno.

A este fenómeno también se le conoce como sobrevoltaje de hidrógeno. Esto ocasiona que la presión de solución del acero se reduzca en 0,27 volts.

Si hacemos una suma de todas las reducciones de presión de solución del acero en volts, tenemos que suman 0,357 volts, que si se los restamos a la presión de solución original del acero 0,400 volts, nos quedarán sólo

0,043 volts como fuerza electromotriz para que continúe la acción galvánica.

Aquí se puede ver que la eficiencia bajó de 100% a sólo 10% o lo que es lo mismo, la inhibición de la acción galvánica es aproximadamente 90% eficiente y esta eficiencia puede aumentar hasta 99% si se usa el inhibidor adecuado.

Sobre voltaje de hidrógeno de los metales más comunes en solución Normal

de  $H_2SO_4$

<u>METAL</u>	<u>SOBREVOLTAJE EN VOLTS.</u>
Cris	0.75
Estado	0.49
Plomo	0.42
Cro	0.36
Cobre	0.33
Plata	0.29
Hierro	0.27
Níquel	0.24
Aluminio	0.19
Platino	0.12

Efecto de la Inhibición. - El principal efecto producido por una inhibición es el del incremento de presión de solución del hidrógeno en el cátodo (sobre voltaje del hidrógeno). Esto es causado por una película de hidrógeno atómico que es absorbido por el metal y que no es fácilmente removible ni siquiera como hidrógeno molecular.

Causa de la Inhibición. - Las inhibidores son la causa primordial en el aumento de la presión de solución del hidrógeno cuya función se opone se a la presión de solución del metal. Al aumentar inhibidor a un límite de concentración, los cationes

Las cargas positivas que serían atraídas por las iones catódicas, las cargas se neutralizan  
y el cátodo se deposita.

### ¿Qué tan rápido ocurre la corrosión?

La velocidad de corrosión es independiente de ánodo y cátodos, sin un flujo  
de corriente pasando entre ambos, a menos que estén juntos  
cerrando el circuito con un metal apropiado.

Si la resistencia eléctrica en la solución entre el cátodo y el ánodo fuese in-  
finita, entonces los potenciales del ánodo y del cátodo se mantendrían constantes a  
su valor de equilibrio, y la corriente sería cero, y no ocurriría corrosión alguna.  
De acuerdo a la ley de Ohm,  $I = \frac{E}{R}$ , y no ocurriría corrosión alguna.

Por otro lado, si la resistencia fuese de cero, entonces la corriente sería  
infinita y habría corrosión instantánea y total.

En la práctica la resistencia tiende a cero, lo que ocasiona un máximo flujo  
de una corriente dada.

Al haber un flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo, el potencial de án-  
odos varía.

Esta variación recibe el nombre de polarización. La polarización reduce la  
diferencia del potencial entre el ánodo y el cátodo (y la intensidad de la reacción de-  
sdeco). Esto se puede interpretar por medio del argumento siguiente: figura # (7).

## Curvas de Polarización para un Sistema Hierro y Solución Ácida

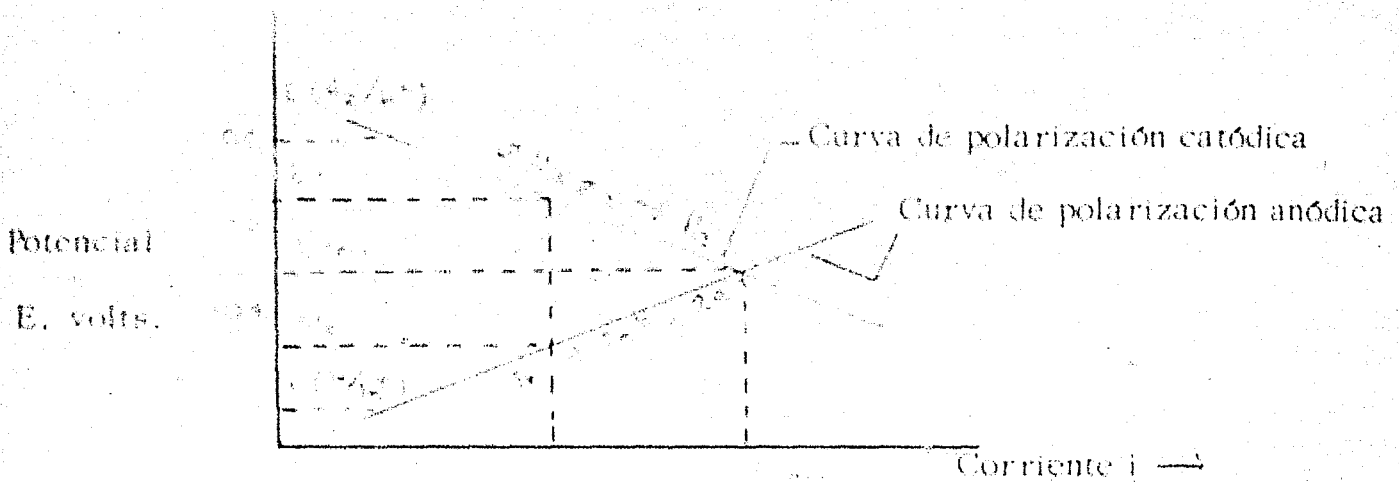


Figura # 17

El flujo de corriente en cualquier punto localizado entre el ánodo y el cátodo, estará dado por la siguiente ecuación:

$$i = (E_c - E_a) / R \quad (6)$$

R. - Resistencia total del circuito.

E<sub>c</sub>. - Potencial catódico.

E<sub>a</sub>. - Potencial anódico.

El valor de la resistencia R es pequeño debido a que generalmente el ánodo y el cátodo se encuentran muy cerca uno de otro y es por esto que al haber una corriente máxima determinada, la diferencia de E<sub>c</sub>-E<sub>a</sub> tiene que ser pequeña, siendo el punto de intersección entre las dos curvas (Figura # 17) en valor bastante aproximado a las condiciones existentes durante la corrosión.

Una vez que un metal ha alcanzado libremente su equilibrio en el medio corrosivo y está siendo corroído libremente, tendrá un potencial de corrosión  $E_{corr}$ , y una intensidad de corriente entre el ánodo y el cátodo de  $i_{corr}$ .

El potencial de corrosión puede ser fácilmente medido experimentalmente, por medio del siguiente aparato (Figura # 18).

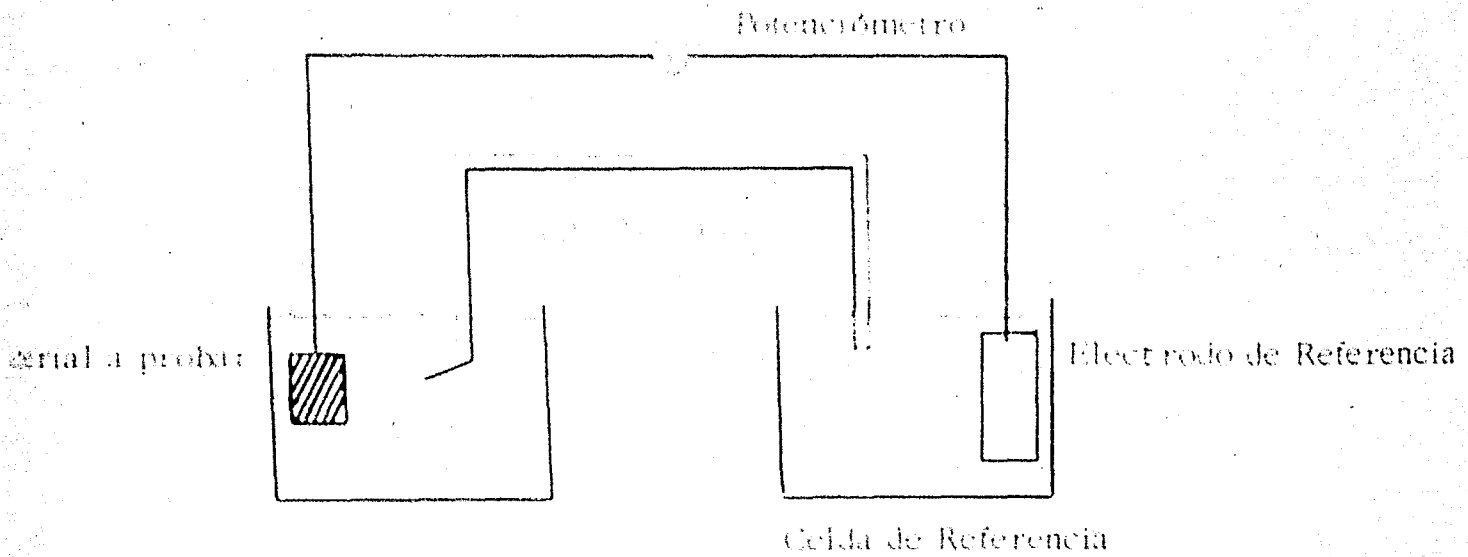


Figura # 18

Aquí se estará midiendo la diferencia de potencial entre un metal en corrosión y sus iones en solución.

La intensidad de corriente en una corrosión, puede convertirse a velocidad de corrosión mediante la siguiente ecuación:

$$R_{mca} = 0.05 \cdot i_{cp}$$

- Rmca: - Velocidad de corrosión en milésimos de centímetro/año.
- i: - Intensidad de corriente microamperes/cm<sup>2</sup>.
- e: - Peso equivalente del metal en g.
- p: - densidad del metal en g/cm<sup>3</sup>.

Polarización.

Se ha definido polarización como el cambio de potencial de un electrodo al fluir una corriente de o hacia él. Para un determinado flujo de corriente, este cambio puede ser pequeño o grande (Figura # 19).

Efectos de la Polarización en los Electrodo:

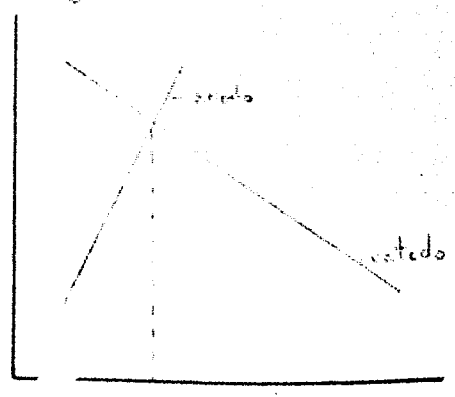
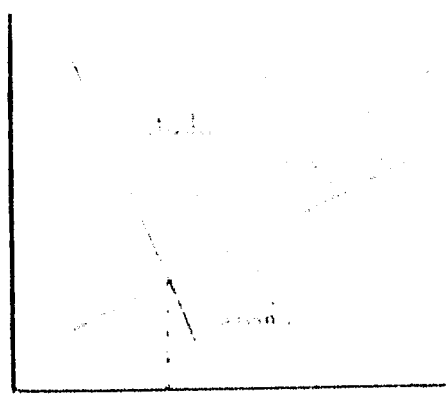
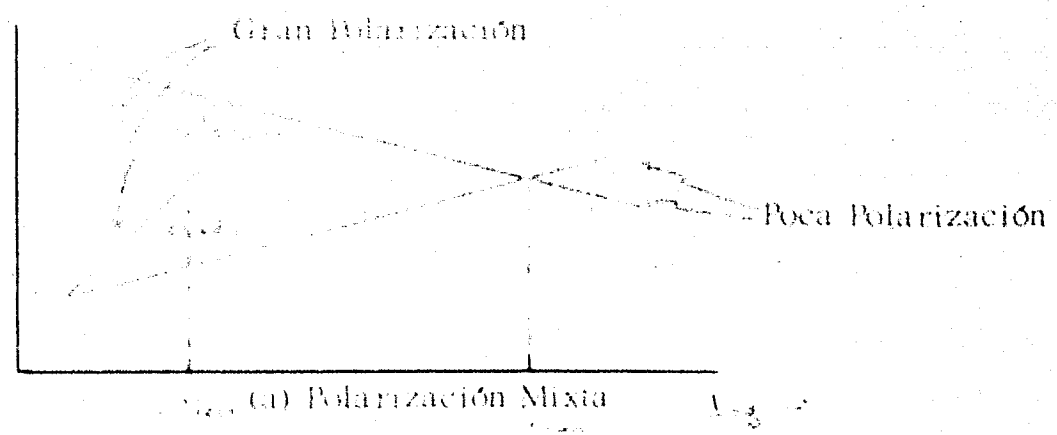


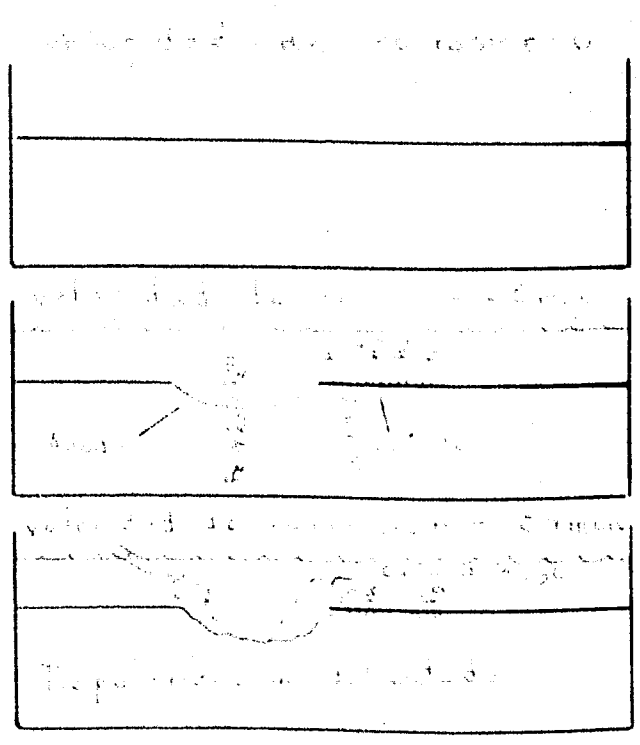
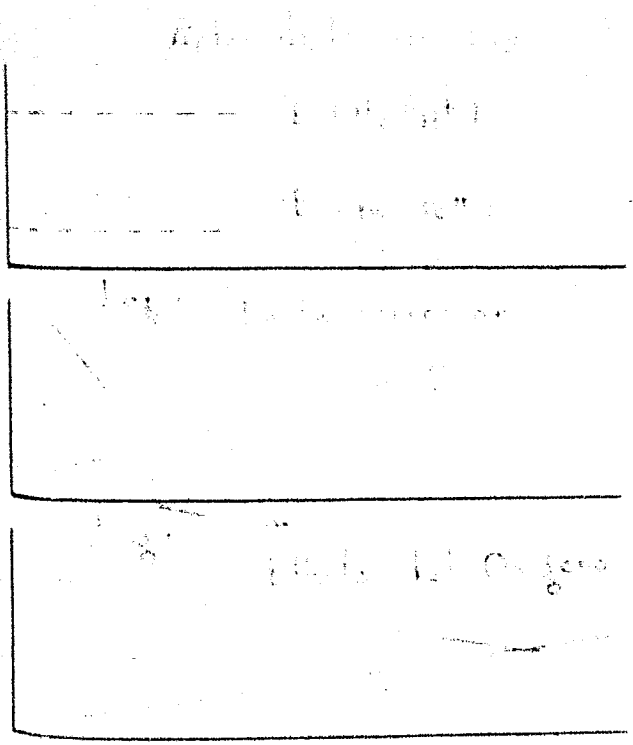
Figura # 19

Al disminuir el grado de polarización, disminuirá la velocidad de corrosión. La polarización anódica puede ser mayor o menor a la polarización catódica (Figura # 19 (b) y Figura # 19 (c)), aunque las curvas reales no son necesariamente tan rectas como se ve en los diagramas. Al corroerse fierro en ácido clorhídrico, se reducen átomos de hidrógeno en el cátodo para formar gas hidrógeno.

La molécula de hidrógeno al formarse, ya no es necesaria para la reacción de corrosión y estará estorbiando si permanece en el cátodo, ya que evita que lleguen a la superficie y reaccionen otros iones de hidrógeno. Es por esto que el (gas) hidrógeno molecular puede retardar o polarizar la operación de cátodo y en estas condiciones la corrosión se verá frenada (Figura # 20).

CURVAS DE POLARIZACION

REACCIONES DE SUPERFICIE



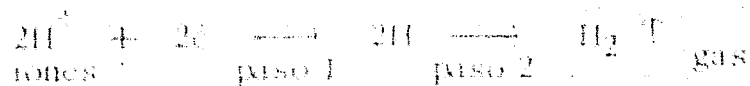
La reacción del hidrógeno, depolariza al cátodo.

Si se tiene  $\text{H}_2\text{O}_2$  y oxígeno, éste se combinará con el hidrógeno en la superficie metálica y lo eliminará, ocasionando una mayor velocidad de reducción en el cátodo.

El oxígeno no toma parte activa en la reacción electroquímica, sino que simplemente ha eliminado a uno de los subproductos, el cual estaba inhibiendo un ataque posterior y se puede decir que en este caso el oxígeno ha despolarizado la reacción. La acción del oxígeno como aquí se ilustra, no es del todo exacta, ya que también influirá en otras reacciones del cátodo. Sin embargo, la (Figura # 20) sí nos da una representación del uso de diagramas de polarización.

Hay básicamente tres motivos para que suceda la polarización y son:

- La polarización por activación. - Es el resultado de un paso lento en la reacción de electrodo en el ánodo y en el cátodo. Por ejemplo, al formarse hidrógeno en el cátodo todo se forma así:



El paso 1 ocurre rápidamente, mientras que el paso 2 es generalmente más lento y por lo tanto el que controla.

- La polarización por concentración. - Es el frenado de una reacción, debido a la acumulación o al exceso de una de las especies reaccionantes en la superficie del electrodo. Dependerá de las velocidades de difusión



y se podrá reducir al agitar la solución (Figura # 21).



Polarización por concentración: la difusión de los iones hidrógeno hacia el cátodo es más lenta que la reacción de reducción.

- c) Polarización debido a las caídas de potencial. - (o caídas de IR) que son las caídas de potencial a través del electrolito (reaccionado en el electrodo) y de los productos de corrosión (como son las películas de superficie).

El uso de inhibidores ahorra cerca de 5 Kg. de metal, por tonelada de acero desincrustado.

También puede haber ahorros indirectos, pues cuando se disuelve menos metal, la acumulación de hierro en el baño es menos rápida, prolongándose la vida del

hacia y obviamente se puede desincrustar mayor cantidad de acero.

Hay una relación directa entre metal en solución y consumo de ácido, así que mientras menos metal sea disuelto, menor ácido se necesitará.

Otro ahorro indirecto es el aumento de producción debido al uso de inhibidores.

El acero procesado en ácido que contenga inhibidor nos da una menor pérdida de metal, así como una disminución en la picadura del metal. Picadura excesiva significa metal desperdiciado y aún una picadura leve significa pérdidas, ya que el acero resultante no será satisfactorio para las operaciones subsecuentes.

La acción del ácido sobre los óxidos cuando éstos son disueltos, es la de producir sales de hierro y agua, sin embargo, cuando la base metálica sufre un ataque junto con las sales de hierro, hay una producción de hidrógeno. Se ha demostrado que cuando el metal es disuelto en ácido, se produce un volumen determinado de hidrógeno atómico, consistente de átomos sencillos que se combinan en grupos de dos para formar hidrógeno molecular.

Si la acción del ácido es tan violenta que el hidrógeno no pueda ser disipado de la superficie lo suficientemente rápido, éste será absorbido o disuelto en el acero y por lo tanto, afectado sus propiedades de flexibilidad y ductilidad. Cuando esto ocurre, se desarrolla un fenómeno llamado fragilidad de hidrógeno o fragilidad ácida. Por lo tanto, cuando se usan inhibidores, estos evitan la acción del ácido y de la base metálica en la formación de esta fragilidad de hidrógeno. Puede parecer

rare que un gas aparentemente inofensivo pueda tener efectos tan dañinos en aceros, pero así es. La cantidad de  $H_2$  generado en una desincrustación influye en la cantidad de este gas que es absorbido por el metal. Hay otras causas que ocasionan la fragilidad en el acero. Una de ellas es la composición química del mismo inhibidor.

Algunos inhibidores que aunque reducen la cantidad de  $H_2$  que se forma, tienden a volver frágiles a ciertos tipos de acero con los que reaccionan, por esto hay que seleccionar el inhibidor adecuado para cada caso.

Esto no es muy difícil, ya que los inhibidores en general pueden ser clasificados en dos categorías que son: a) Para materiales de alta resistencia. b) Para materiales de resistencia moderada. Sin embargo, hay materiales que se ofrecen y deberían ser clasificados como de poder débil o pobre. Los factores a tomar en cuenta a fin de escoger el inhibidor apropiado son generalmente: para proceso continuo, para proceso en lotes, tiempo de exposición, las diferentes clases de acero por tratar y el ácido que se va a emplear. Casi cualquier inhibidor se puede usar en procesos continuos, o de lote.

Supongamos que tomamos un caso hipotético en donde empleamos ácido sulfúrico, esto deja al procedimiento empleado en la práctica y el tipo de acero por tratar como las variables por determinar. Si la operación se refiere a desincrustación de un lote, primero consideraremos un material de alta resistencia, el tiempo de exposición en esta operación es mucho mayor que el empleado en desincrustación continua a alta velocidad.

Si el proceso de desincrustante es de alta velocidad y continuo, aparte de los factores ya mencionados, se debe tener en cuenta la temperatura y la estabilidad del hierro. En operaciones normales por medio de este proceso continuo, uno se encuentra con altas temperaturas y grandes cargas de baños de hierro. Esto significa que la estabilidad del hierro es muy importante.

### INHIBIDORES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Los inhibidores inorgánicos como son los compuestos de arsénico (As) y antimonio (Sb) ya casi no se usan, otros inhibidores inorgánicos como cromatos y nítritos no pueden ser usados en soluciones acuosas debido a que la acción de estos inhibidores consiste solamente en la formación de una capa pasivadora de óxido, principalmente en los ánodos del metal, estas capas de óxido son solubles en ácidos más fuertes por lo que los agentes oxidantes como lo son los cromatos, ya no tienen un efecto inhibitorio en ácidos y solamente aceleran la disolución del metal por medio de una despolarización del hidrógeno que se está formando.

Hay algunos aniones que son absorbidos preferentemente por los centros activos de la superficie metálica, entre los que se encuentran los cloruros bromuros y yoduros por lo tanto, estos aniones (que en muchos casos son aceleradores de los fenómenos de corrosión) pueden mejorar el efecto inhibitorio en presencia de inhibidores orgánicos. Esto se aprecia ya en el caso de desincrustación de aceros al alto carbono a temperaturas elevadas mediante la adición de el cianuro de sodio a la solución de ácido sulfúrico.

Los inhibidores orgánicos que se usan más frecuentemente en las desincrustaciones son aquellos compuestos que contienen azufre, oxígeno o nitrógeno. Los que son algo solubles en los baños usados en las desincrustaciones y además, tienen un peso molecular relativamente alto.

En la práctica se ha encontrado que los inhibidores que contienen azufre son útiles principalmente para producir un efecto inhibitor en las desincrustaciones que utilizan ácido sulfúrico, mientras que los inhibidores que contienen nitrógeno son más útiles en baños desincrustantes de ácido clorhídrico. El efecto inhibitor aumenta generalmente al aumentar la longitud de la cadena del compuesto orgánico pero su eficiencia está limitada por el hecho de que la solubilidad disminuye al aumentar la longitud de esta cadena.

Hay muchas interacciones entre la molécula del inhibidor y el hidrógeno nascente que se forma al actuar el ácido en el metal, esto puede ocasionar una inhibición secundaria (en donde los inhibidores se forman a partir de esta reacción), sin embargo, esta interacción entre la molécula del inhibidor y el hidrógeno nascente puede también ocasionar una destrucción de la molécula del inhibidor y con esto ocasionar una disminución en la acción inhibitoria a mayores temperaturas y concentraciones ácidas.

Algunas moléculas de inhibidores no son físicamente absorbidas, sino que son absorbidas químicamente. Estas moléculas bloquean materialmente los centros activos de la superficie del metal, causando con esto que no estén disponibles para el fenómeno de electrocristalización, así como sucede en una deposición galvánica

de metal o en la formación de un recubrimiento de fosfato. A veces las moléculas absorbidas químicamente de la superficie del metal no pueden ser enjuagadas fácilmente, por lo tanto cuando un inhibidor es demasiado efectivo, interfiere en la posterior formación del fosfato, así que este inhibidor tendría que ser substituído por otro con una menor efectividad a fin de que pueda ser enjuagado más fácilmente.

La presencia de iones ferrosos en el ácido desincrustante es perjudicial, ya que el tiempo para una buena justación aumenta al aumentar la concentración de iones ferrosos. Esto se debe más probablemente a una disminución de la actividad de los iones hidrógenos en el ácido. Si la solución desincrustante contiene iones ferrosos como impurezas, algunos inhibidores forman reacciones de óxido-reducción que interterrán con la absorción de los inhibidores.

La rugosidad de la superficie del metal también influye en la acción inhibidora, ya que mientras más espesa sea la superficie habrá un mayor número de centros activos para la absorción de los inhibidores.

Debido a esto, la acción inhibidora aumenta al haber mayor rugosidad en las superficies. La presencia de los rimbos o de escamas de incrustación antes o en la operación desincrustante, tiene notable influencia entre la reacción de desincrustación y la acción inhibidora.

La acción protectora de un inhibidor en una desincrustación es diferente a la acción protectora del mismo inhibidor en una superficie metálica bien pulida y depende de la interacción electroquímica entre el óxido y la base del metal.

Muchos de los líquidos en desincrustaciones contienen agentes humectantes, detergentes o compuestos tensioactivos (espumantes), aparte del inhibidor. Los agentes humectantes o detergentes tienen un efecto inhibitor insignificante y algunos no lo tienen en lo absoluto. Sin embargo, pueden ayudar a la acción inhibitora o retardadora, dependiendo en la cantidad en que son absorbidos por los centros activos del metal. Los agentes humectantes producen también una superficie más limpia, eliminando películas de óxido que permiten que los ácidos sean lavados más fácilmente.

Los agentes humectantes también facilitan la penetración de los ácidos a través de las grietas y fisuras de la incrustación, así que ocasionalmente se les llama "aceleradores de desincrustación".

Los compuestos espumantes se usan con el fin de formar una capa estable de espuma sobre la superficie del baño para reducir al mínimo las salpicaduras de ácido, para conservar el calor del baño y para minimizar el rocío de ácido.

El tener un buen manto de espuma es aconsejable, especialmente en los procesos como en el de procesamiento de alambre o alambrolón, ya que este trabajo se realiza en tanques abiertos.

La espuma se forma con las burbujas de hidrógeno, el que se forma por el ataque de ácido al metal. La presencia de un manto de espuma, aún cuando se utiliza un compuesto espumante, nos indicará que hay una sobre inhibición y por lo tanto se deberá reducir la cantidad de inhibidor en el baño o usar otro inhibidor con menor

acción inhibitoria.

Un buen inhibidor deberá reunir los siguientes requerimientos, a fin de que sea útil en la desincrustación con ácidos.

1. Deberá tener una buena acción inhibitoria. Aquel compuesto que produzca una menor cantidad de hidrógeno, tendrá la mejor acción inhibitoria al ser usado en determinada concentración, temperatura del baño y concentración del ácido.
2. Los inhibidores que contienen azufre reducen grandemente la formación de hidrógeno, y por lo tanto la fragilidad de hidrógeno del metal, ya que el ácido sulfúrico (añadirle de hidrógeno) es un utilizador negativo en la transformación de hidrógeno atómico a hidrógeno molecular.
3. No deberá retardar la disolución de los óxidos de hierro. De ser posible, deberá acelerar el ataque del ácido a los óxidos de hierro.
4. Deberá reducir el tiempo de desincrustación tanto como sea posible. En muchas ocasiones el tiempo de desincrustación de un baño con inhibidor aumenta en un 20 - 30% con respecto a un baño sin inhibidor.
5. Deberá tener características especiales en la formación de un manto de espuma en un rango amplio de temperatura, concentración de ácido y contenido de sales de hierro. La espuma debe ser limpia y fácilmente enjuagable y no deberá adherirse a la superficie de incrustada.



6. Deberá ser estable a temperaturas altas y no deberá perder su eficacia al ser usado durante períodos prolongados.

No deberá interferir en la recuperación del fondo, la regeneración del ácido desincrustante y de las aguas ácidas de desperdicio. Esto es sumamente importante actualmente, a fin de prevenir contaminación de aguas en ríos o en lagos.

8. Deberá ser fácilmente manejable. Debido a esto, es frecuente que el inhibidor sea añadido a los ácidos concentrados y éstos sean vendidos como ácidos inhibidos. Si el inhibidor se vende en forma de polvo, esto involucra el preparar primero una mezcla con ácido diluido. Si el inhibidor se añade al ácido concentrado, éste deberá ser estable.

#### Ventajas en el uso de inhibidores.

#### A) Resultados al usar un metal.

1. Puede aumentar la producción.
2. Disminuye o evita el costo de pérdida en la desincrustación.
3. Mayor material disponible después de la desincrustación.
4. Se elimina el riesgo de sobre desincrustación.
5. El metal no se pica ni se pinta.
6. Se producen superficies más lisas, limpias y brillantes.
7. No deben desincrustarse uniformemente diferentes condiciones.
8. Los costos de mantenimiento disminuyen.

#### B) Resultados al eliminar Acido.

1. No se debe utilizar Acido en destruir material bueno.
2. Se requiere mayor cantidad de Acido para desincrustar un determinado peso de material.
3. La misma cantidad de Acido puede limpiar un mayor tonelaje de acero.
4. Se ahorra trabajo en la preparación de baños.
5. Se reduce la cantidad de Acido gastado disponible.

#### C) Ventajas al reducir la formación de hidrógeno.

1. Se elimina la fragilidad del metal y el efecto tensorial del metal no se daña.
2. Hay menor emisión de la radiación de vapores de Acido y por lo tanto, se reduce la corrosión de la planta y del equipo, mejorándose las condiciones de trabajo en el área de desincrustación.

4  
C A P I T U L O I V

T A B L A S



Description of work	Quantity		Unit Price		Total Amount	
	Area	Volume	Area	Volume	Area	Volume
Excavation for foundation	100	100	100	100	100	100
Concrete foundation	100	100	100	100	100	100
Formwork for foundation	100	100	100	100	100	100
Reinforcement for foundation	100	100	100	100	100	100
Backfill for foundation	100	100	100	100	100	100
Foundation completion	100	100	100	100	100	100
Excavation for floor slab	100	100	100	100	100	100
Concrete floor slab	100	100	100	100	100	100
Formwork for floor slab	100	100	100	100	100	100
Reinforcement for floor slab	100	100	100	100	100	100
Backfill for floor slab	100	100	100	100	100	100
Floor slab completion	100	100	100	100	100	100
Excavation for walls	100	100	100	100	100	100
Concrete walls	100	100	100	100	100	100
Formwork for walls	100	100	100	100	100	100
Reinforcement for walls	100	100	100	100	100	100
Backfill for walls	100	100	100	100	100	100
Walls completion	100	100	100	100	100	100
Excavation for roof	100	100	100	100	100	100
Concrete roof	100	100	100	100	100	100
Formwork for roof	100	100	100	100	100	100
Reinforcement for roof	100	100	100	100	100	100
Backfill for roof	100	100	100	100	100	100
Roof completion	100	100	100	100	100	100

Table 1.2

Contractor					Employer				
No.	Item	Unit	Qty	Rate	No.	Item	Unit	Qty	Rate
1	Excavation	m <sup>3</sup>	100	100	1	Concrete	m <sup>3</sup>	100	100
2	Formwork	m <sup>2</sup>	100	100	2	Reinforcement	m <sup>3</sup>	100	100
3	Backfill	m <sup>3</sup>	100	100	3	Formwork	m <sup>2</sup>	100	100
4	Foundation	m <sup>3</sup>	100	100	4	Backfill	m <sup>3</sup>	100	100
5	Floor slab	m <sup>3</sup>	100	100	5	Foundation	m <sup>3</sup>	100	100
6	Walls	m <sup>3</sup>	100	100	6	Floor slab	m <sup>3</sup>	100	100
7	Roof	m <sup>3</sup>	100	100	7	Walls	m <sup>3</sup>	100	100
8	Total				8	Roof	m <sup>3</sup>	100	100

Gr	m	m		m	m		m	m	m	
		absolute	relative		absolute	relative				
11200	17	55	20	73	10	11	51	12	67	30910
11329	18	71	20	81	40	12	67	13	67	4850
11417	19	89	27	87	40	13	67	14	79	6770
11508	19	97						15	91	12120

Informe de los resultados de la investigación sobre el uso de los recursos hídricos en la zona de estudio.

Categoría de uso	Cantidad de agua utilizada (litros)			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Uso residencial	1200	1150	1100	1050
Uso comercial	800	750	700	650
Uso industrial	500	450	400	350
Uso agrícola	300	250	200	150
Uso público	100	100	100	100

Para el presente estudio se ha considerado el uso de agua en la zona de estudio durante el periodo de tiempo comprendido entre el mes de septiembre y el mes de diciembre. Los datos obtenidos muestran una clara tendencia a la disminución del consumo de agua durante el periodo de estudio. Esto puede deberse a las bajas temperaturas que se registraron durante este periodo, lo que provocó una menor necesidad de agua para calefacción y otros usos. El consumo de agua en la zona de estudio se ha reducido en un 25% respecto al mes de septiembre, lo que indica una mayor conciencia de los usuarios sobre el uso responsable de este recurso.

En consecuencia, se puede concluir que el uso de agua en la zona de estudio ha disminuido durante el periodo de estudio. Esto puede deberse a las bajas temperaturas que se registraron durante este periodo, lo que provocó una menor necesidad de agua para calefacción y otros usos. El consumo de agua en la zona de estudio se ha reducido en un 25% respecto al mes de septiembre, lo que indica una mayor conciencia de los usuarios sobre el uso responsable de este recurso.

Fecha	Cantidad de agua utilizada (litros)
01/09/2023	1200
01/10/2023	1150
01/11/2023	1100
01/12/2023	1050

Nota: Los datos presentados en este informe son solo orientativos y no deben ser utilizados como base para tomar decisiones. El uso responsable de los recursos hídricos es esencial para garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras.

C A P I T U L O W



## C O N C L U S I O N E S

En la industria metalúrgica y en los procesos químicos, recientemente se ha incrementado el uso de sustancias químicas selectivas llamadas "inhibidores".

Estos inhibidores son empleados en la desincrustación por medio de ácidos de metales ferrosos (y no ferrosos). Con ello se han podido efectuar ahorros substanciales al prevenir gastos innecesarios de ácido y metal en los procesos desincrustantes.

Paralelamente a estos ahorros de ácido y metal se han conseguido:

1. Un aumento en la producción al ahorrar tiempo.
2. Una mejor calidad de los productos terminados.
3. Una optimización en los procesos.
4. Una reducción en los contaminantes de las aguas de desperdicio.
5. Un beneficio económico ya que se requiere menor cantidad de ácido para desincrustar un determinado peso de material, etc.

Por todo lo anterior, considero que el uso de los inhibidores en la desincrustación de ácidos de metales ferrosos (y no ferrosos) reporta grandes beneficios en los procesos industriales.

C A P I T O L I O

## BIBLIOGRAFIA

1. Bregman J. I.  
"Corrosión Inhibitors"  
The Mac. Millan Co., New York (1963)
2. Chemical Engineering.  
"Fundamentals of Corrosion" Michael Henthorne  
"Electrochemical Corrosion" Michael Henthorne  
"Blanqueamiento Ultra Yield Corrosion Rates" Michael Henthorne  
"Cooling Water" Ronald M. Silverstein, Spencer D. Curtis  
"Measuring Corrosion in the Process Plant" Michael Henthorne  
"Stress Corrosion" Michael Henthorne  
Mayo 17, Junio 14, Julio 26, Agosto 9 y 23, y Septiembre, (1971)
3. Efficient Pickling with "Resline" (Bulletin No. 13)  
American Chemical Paint Company  
Ambler, Pennsylvania, September (1952)
4. Evans Chick Richardson  
"Introducción a la Corrosión Metálica"  
Versión por M. Marín Barrolona (1950)

5. Hydrocarbon Processing

"Inhibitors: New Demands for Corrosion Control"

J. M. Brooke Engrg (1970)

6. Perry John H.

"Chemical Engineers Handbook"

McGraw Hill, 4th. Edition (1963)

7. Proceedings for Archem International Metalworking Convention

Tokyo-Japan (1968)

8. Sankaran A.

"The Pickling of Steel and the Behavior of Inhibitors as an Electro-chemical Reaction"

American Chemical Paint Co., Ambler, Pennsylvania Sept. (1953)

9. Scully P.

"Fundamentals of Corrosion"

Pergamon Press, Oxford (1966)

10. Shaw, D. J.

"Introduction to Colloid and Surface Chemistry"

Butterworths, London (1966)

11. Second Annual Arachem Latin American Metalworking Seminar.  
Buenos Aires, Argentina July 8 - 12 (1968)
12. Speller, Frank N.  
"Corrosion, causes and Prevention"  
McGraw Hill New York (1951)
13. Uhlig, Herbert Henry  
"The corrosion Handbook"  
John Wiley and Sons New York (1948)
14. Villarreal Dominguez F.  
Apuntes del curso de Electroquímica  
Facultad de Química México (1967)
15. W. Dudlik and W. Machu  
"The role of Organic chemical Inhibitors in Oil Well Acidizing"  
(Conference) Amity, Pennsylvania - U.S.A. and Christian Bigner  
Sweden (1970)
16. W. Machu  
"Inhibitors in Pickling" (Conference)  
Wien Austria (1970)